
دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي
١٢
الاتصالات





دولة فلسطين

وزارة التربية والتعليم العالي

# الاتصالات

## (النظري)

### للصف الثاني الثانوي

### (الفرع الصناعي)


**المؤلفون**

م. ابراهيم الدلق «منسقاً»

م. هاشم الشولي

م. صلاح الدين الحاج احمد

م. اسامة طه

م. محمد يوسف حسين «مركز المناهج»




قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين

تدريس كتاب الاتصالات للصف الثاني الثانوي في مدارسها للعام الدراسي ٢٠٠٦ / ٢٠٠٧م

## الإشراف العام

**رئيس لجنة المناهج:** د. نعيم أبو الحمص

**مدير عام مركز المناهج:** د. صلاح ياسين

## مركز المناهج

**إشراف تربوي :** د.عمر أبوالحمص

### الدائرة الفنية

- **إشراف إداري:** احمد سياعرة
- **تصميم:** عبد الفتاح يعقوب
- **الإعداد المحوسب للطباعة:** حمدان بحبوح
- **تصميم الغلاف:** كمال فحماوي
- **رسومات :** عبد الفتاح يعقوب
- **تحرير لغوي:** كمال بواطنه
- **تحرير علمي:** د. علام موسى

**الطبعة الأولى التجريبية**

٢٠٠٦م/١٤٢٧ هـ



مركز المناهج – حي المصيون – شارع المعاهد – أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة

ص .ب ٧١٩ – رام الله – فلسطين

تلفون ٢٩٦٩٣٥٠-٢-٩٧٠+ ، فاكس ٢٩٦٩٣٧٧-٢-٩٧٠+

الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps – العنوان الالكتروني: pcdc@palnet.com

# تمهيد

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية ؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهمّاً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وهوحق إنساني، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع ؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي، أحد عناصر المنهاج ؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم : الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة.

لقد قامت وزارة التربية والتعليم العالي بإتمام مرحلة تأليف جميع الكتب المدرسية (١ –١٢)، التي تُوِّجَت بتطبيق كتب الصف الثاني الثانوي (١٢) بجميع فروعه : العلمي، والعلوم الإنسانية، والمهني، والتقني، مع بداية العام الدراسي(٢٠٠٦ / ٢٠٠٧). وتعمل الوزارة حالياً على تنفيذ خطة تطوير شاملة في السنوات الثلاث القادمة، تغطي أربعة مجالات، وهي : أنشطة تطويرية (مراجعة جميع الكتب للصفوف ١ –١٢)، وأنشطة استكمالية (أدلة المعلم والوسائل المعينة)، وأنشطة مستقبلية (دراسات تقويمية وتحليلية لمناهج المراحل الثلاث في جميع المباحث أفقياً وعمودياً)، وأنشطة موازية (توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وتحسين آلية امتحان الثانوية العامة).

وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الاثني عشر، وعددها يقارب ٤٥٠ كتاباً، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي ؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنويّاً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها، وترى الوزارة الطبعات من الأولى إلى الرابعة طبعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير ؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة. إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهريّاً في التعليم، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة، بمنهجية رسخها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لايسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا ؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات التربوية الوطنية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كلٌّ حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركزالمناهج، والإقرار، والمؤلفين، والمحررين، والمشاركين في ورشات العمل، والمصممين، والرسامين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

**وزارة التربية والتعليم العالي**
**مركز المناهج**
**أيلول ٢٠٠٦ م**

بسم الله الرحمن الرحيم

## مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على رسول الله محمد (ﷺ) وعلى اله وصحبه أجمعين وبعد .

فهذا هو الكتاب النظري لتخصص الاتصالات للصف الثاني عشر الصناعي، وقد تم تأليف الوحدات حسب الخطوط العريضة التي أعدت لهذا التخصص، وتم مراعاة التدرج في طرح المفاهيم ليتمكن الطالب من استيعابها وفهمها .

يشتمل الكتاب على ست وحدات، هي : التضمين النبضي والرقمي، والهوائيات وانتشار الموجات، وخطوط النقل، وأنظمة الميكروويف والأقمار الصناعية، والشبكات الهاتفية، والاتصالات اللاسلكية . في الوحدة الأولى قدمنا مفهوم التحويل التماثلي – الرقمي والتضمين النبضي بأنواعه، والتضمين النبضي المرمز، والتضمين النبضي– الرمزي التفاضلي، وتضمين دلتا .

أما في الوحدة الثانية فقد قدمنا مفهوم انتشار الموجات في طبقات الجو المحيط بالأرض ومفهوم استقطاب الموجة الكهرومغناطيسية، بالإضافة إلى مفهوم الهوائيات وأنواعها وخصائصها .

في الوحدة الثالثة تناولنا مفاهيم خطوط النقل وأنواعها وخصائصها وتطبيقاتها .

أما في الوحدة الرابعة فقد طرحنا مفاهيم أنظمة اتصالات الميكروويف والأقمار الصناعية وخصائصها وتطبيقاتها .

في الوحدة الخامسة، قدمنا مفهوم الشبكة الهاتفية ومكوناتها، وانواع المقاسم وأنظمتها وسيناريوهات المكالمات الهاتفية وتطبيقات الشبكات الهاتفية ونموذج النقل اللامتزامن .

في الوحدة السادسة، قدمنا مفاهيم الأنظمة اللاسلكية التقليدية، والأنظمة الخليوية الحديثة في أنظمة الهواتف الخليوية، والنظام العالمي للاتصالات المتنقلة وأنظمة الهواتف اللاسلكية وهواتف الأقمار الصناعية وأنظمة الإرسال والاستقبال اللاسلكية بالإضافة إلى مفاهيم البلوتوث والواي فاي والدارة المحلية اللاسلكية والوحدة المتنقلة .

بذل فريق التأليف جهداً خاصاً لتقديم المادة العلمية بطريقة تجعلها مفهومة ومبسطة لجميع مستويات الطلبة تعتمد على الصورة والنص معاً لتمكين الطلبة من استيعاب المهارة المطلوبة واكتسابها، ولقناعتنا بأن درجة صعوبة المادة العلمية المقدمة ستعتمد على خلفيات الطلبة واهتماماتهم، ومقدرة المعلم العلمية والعملية والتربوية، فإننا قمنا بعرض المادة على شكل مفاهيم وأمثلة وتدريبات وصور ونشاطات وتدريبات عملية متنوعة ستساعدهم على اكتساب المهارات اللازمة، بالإضافة إلى الساعات الطويلة التي بذلها المؤلفون في إعداد الكتاب، حرص فريق التأليف على الاستعانة بالخبرات الفلسطينية في مدارس الوطن وجامعاته ومؤسساته المتخصصة في الاتصالات؛ مما أسهم في تحسين المادة العلمية وأسلوب العرض أملين من المعلمين والمهندسين والآباء والطلبة ألا يبخلوا علينا بملاحظاتهم للعمل على تحسين الكتاب في الطبعات القادمة إن شاء الله .

نشكر كل من أسهم في إخراج هذا الجهد إلى النور : المعلمين، وإدارة المناهج، وشركة الاتصالات الفلسطينية (بال تل)، وشركة الاتصالات الفلسطينية الخليوية (جوال)، والمصممين والكثيرين ممن لم يبخلوا علينا بنصائحهم، والحمد لله رب العالمين .

و الله ولي التوفيق.

المؤلفون

# المحتـــويــــات

الوحـــــــدة




# التضمين النبضي والرقمي

# Pulse And Digital Modulation



# التضمين النبضي والرقمي

نظراً للتطور العلمي في مجال تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، شهدت أنظمة الاتصالات انتشاراً واسعاً في مجالات مختلفة، أهمها تطور أجهزة الاتصال الرقمية، وسرعة نقل البيانات والمعلومات عبر شبكات الاتصال المختلفة، وبدأ التحول السريع باستبدال أجهزة الاتصال التماثلية بأجهزة اتصال رقمية.

تبحث هذه الوحدة في إحدى تقنيات الاتصال الحديثة (التضمين النبضي والرقمي) المستخدمة في أنظمة الاتصالات الحديثة لإرسال واستقبال المعلومات. نركز خلال هذه الوحدة على معرفة آلية تحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية، وطرق التضمين النبضية (PAM ,PWM ,PPM)، وتقنية التضمين النبضي المرمز PCM وتضمين دلتا (Δ M) بالإضافة إلى طرق التضمين الرقمية: (ASK,FSK,PSK,QPSK,GMSK).

## أهداف الوحدة

بعد دراستك هذه الوحدة، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

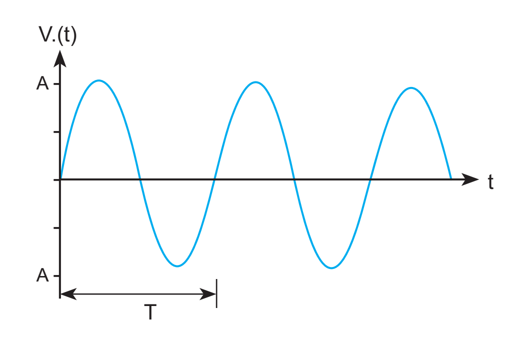
- تعرف آلية تحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية.
- تشرح خطوات عمل محول A/D.
- تعرف أنواع التضمين النبضي.
- تشرح آلية عمل نظام التضمين النبضي المرمز ( PCM ) ونظام تضمين دلتا ( Δ M ).
- تميز بين طرق ترميز PCM المختلفة.
- تميز نقاط الاختلاف بين نظامي ΔM و PCM.
- تعرف طرق التضمين الرقمية.

## أنواع الإشارات

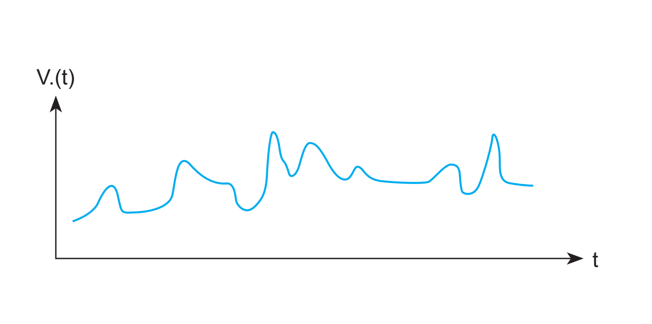
تقسم الإشارات بشكل عام إلى :

### ١. الإشارات التماثلية (Analog Signals)

هي إشارات تأخذ قيماً متغيرة ومتواصلة دون انقطاع خلال فترة زمنية محددة، مثل الإشارة الكهربائية الجيبية الصادرة عن مصدر كهربائي كما في الشكل (1)، أو الإشارة الكهربائية الصادرة عن ميكرفون الهاتف كما في شكل (2) .



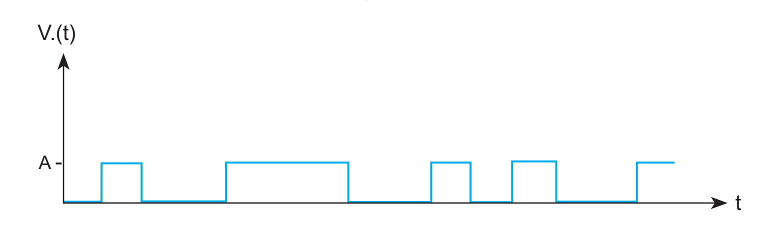

شكل (١): موجة جيبية

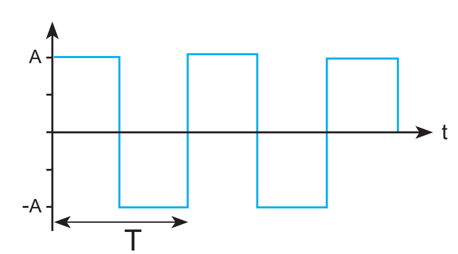



شكل (٢): إشارات ميكروفون

### ٢. الإشارات الرقمية (Digital Signals)

هي تلك الإشارات التي تأخذ قيماً محددة عند تغيرها مع الزمن، ومثال ذلك الإشارات الصادرة عن الحاسوب والتلغراف . . . ) لاحظ شكل (3) .




شكل (٣): إشارات رقمية

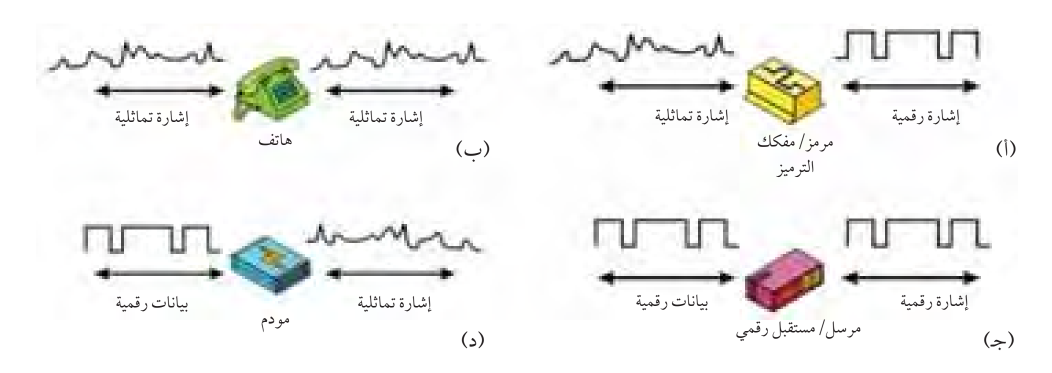
يبين شكل(٤) بعض التطبيقات العملية على تحويل وتعديل هذه الإشارات :

١ . إشارة تماثلية – إشارة رقمية الشكل (٤–أ) .

٢ . إشارة تماثلية – إشارة تماثلية الشكل(٤– ب) .

٣ . إشارة رقمية – إشارة رقمية الشكل(٤–جـ) .

٤ . إشارة رقمية – إشارة تماثلية الشكل (٤– د) .




شكل (٤): تطبيقات عملية على تحويل وتعديل الاشارات

## مقارنة بين أنظمة الاتصالات الرقمية والتماثلية

تمتاز انظمة الاتصال الرقمية عن التماثلية بما ياتي :

١ . الجودة والكفاءة العالية لنوعية المعلومات في المستقبل الرقمي .

٢ . تمتاز أجهزة الاتصال الرقمية بفعالية واستقرارية ووثوقية بالعمل أفضل من أجهزة الاتصال التماثلية .

٣ . يكون تأثير التشويش (Noise) على الأنظمة الرقمية أقل منه في الأنظمة التماثلية ؛ لإمكانية تصحيح الأخطاء .

٤ . إمكانية دمج عدد من الإشارات على نفس قناة البث في الأنظمة الرقمية باستخدام تقنيات الإرسال الرقمي المتعدد .

٥ . تعتمد الأنظمة الرقمية على تشفير البيانات ؛ مما يعطيها ميزة عالية بالأمن والحماية .

٦ . تعدّ الأنظمة الرقمية أكثر اقتصادية من الأنظمة التماثلية .

٧ . تستخدم الأنظمة الرقمية التقنيات المحوسبة في معالجة الإشارات الرقمية (تخزين، تشفير، تحكم . . ) .

ورغم الإيجابيات المتعددة للأنظمة الرقمية إلا أن لها سلبيات منها :

١ . تعدّ الأنظمة الرقمية أكثر تعقيداً من الأنظمة التماثلية .

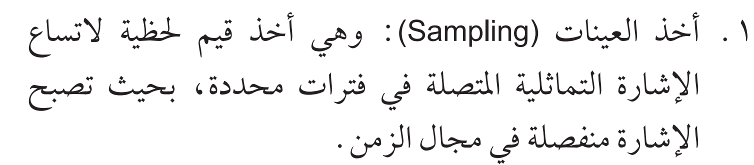
٢ . حاجتها لعرض نطاق كبير جداً مقارنة مع الأنظمة التماثلية .

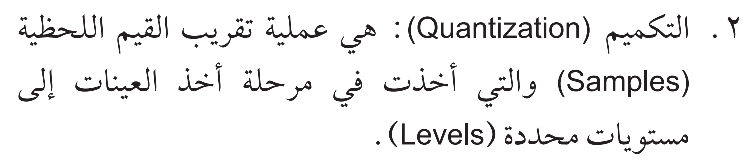
## التحويل التماثلي-الرقمي (A/D)

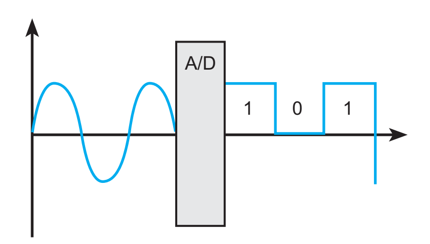
A/D Analog to Digital

تعتمد هذه الآلية على تحويل الإشارة التماثلية إلى سلسلة من النبضات وفقاً لتغير إشارة المعلومات، ويرمز لهذه الآلية ADC أو A/D، حيث يكفي إرسال عينات بصورة منتظمة في وحدة الزمن عوضاً عن إرسال الإشارة التماثلية . لاحظ الشكل (5) .

وتقسم مراحل آلية التحويل التماثلي – الرقمي إلى ثلاث مراحل :

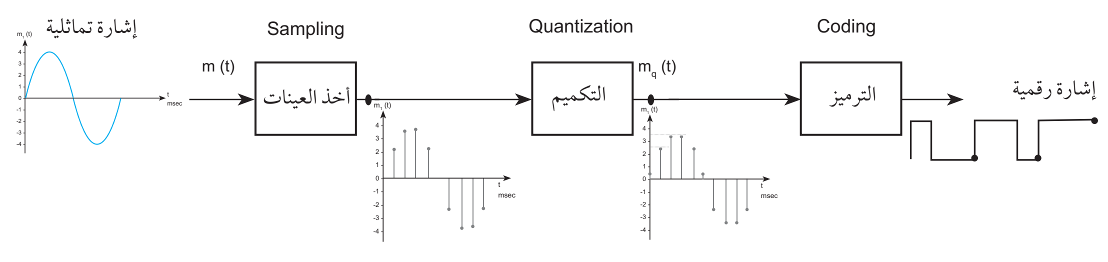

١ . أخذ العينات (Sampling) : وهي أخذ قيم لحظية لاتساع الإشارة التماثلية المتصلة في فترات محددة، بحيث تصبح الإشارة منفصلة في مجال الزمن .


٢ . التكميم (Quantization) : هي عملية تقريب القيم اللحظية (Samples) والتي أخذت في مرحلة أخذ العينات إلى مستويات محددة (Levels) .



شكل (٥) : تحويل تماثلي–رقمي

٣ . الترميز (Coding) : هي عملية إعطاء مستويات التكميم رموزاً رقمية محددة . (رموز النظام الثنائي 0 أو 1)، ويبين الشكل (6) المخطط الصندوقي لعملية التحويل التماثلي – الرقمي .



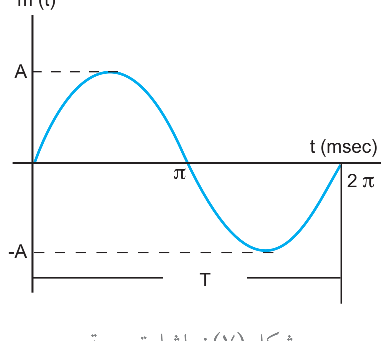
شكل (٦) : المخطط الصندوقي للتحويل من تماثلي إلى رقمي

حيث إن : m (t) : إشارة المعلومات التماثلية المراد إرسالها،

وللتسهيل سنعدّها إشارة جيبية .

$m(t) = A \sin(2\pi ft)$ كما هو مبين في الشكل (7) .

ولكي نفهم ماذا يحدث في عملية التحويل التماثلي–الرقمي لا بد من شرح المراحل الثلاث التي تمر فيها هذه العملية .



شكل (٧) : إشارة جيبية

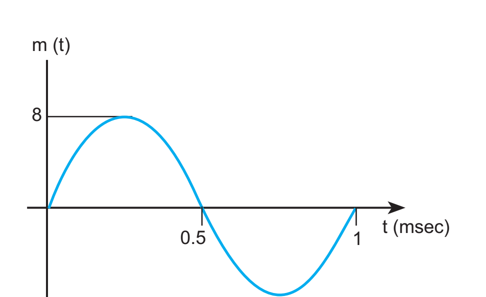
## مرحلة أخذ العينات (Sampling)

تمثل عملية أخذ العينات عملية تبويب (gating) (فتح الباب لأخذ العينة (sample) ثم غلقه بمجرد القيام بذلك، وتعرف باسم hold، وتتكرر العملية بانتظام)؛ أي أخذ قيم منفصلة بشكل منتظم لسعة إشارة تماثلية . وهنا لابد من تعريف **نظرية العينات** (Sampling Theorem) والتي تنص على أنه يتم أخذ عينات من الإشارة التماثلية ذات التردد الأقصى ($f_m$) بتردد أخذ العينات (fs) لا يقل عن $2f_m$ وبصورة منتظمة $f_s \geq 2f_m$، ؛ ذلك حتى يمكن استرجاع الإشارة التماثلية من عيناتها .

يدعى التردد الذي يتساوى فيه التردد $f_s$ مع التردد $2f_m$ **بتردد نايكوست**، أما إذا قل تردد اخذ العينات $f_s$ عن $2f_m$ يحدث خطأ التداخل (aliasing error) بين مكونات طيف إشارة العينات .

**مثـــال (١):** إشارة جيبية ممثلة بالمعادلة الآتية : $m(t) = 8 \sin(2\pi 1000\, t)$ أوجد ما يأتي :

**الحــــل:**




- اتساع الإشارة A .

$$A = 8$$

- تردد الإشارة $f_m$

$$f_m = 1000 \text{ Hz}$$

- زمن الدورة T

$$T = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{1000} = 1 \text{ ms}$$

- تردد نايكوست $f_s$

$$f_s = 2f_m = 2\,(1000) = 2000 \text{ Hz}$$

- زمن اخذ العينات $T_s$

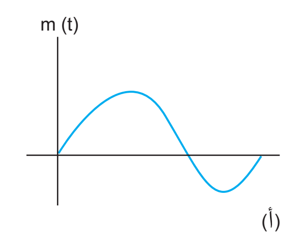
$$Ts = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{2000} = (0.5)\,(10)^{-3} = 0.5 \text{ ms}$$

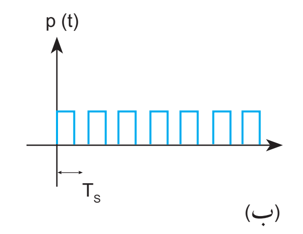
- عدد العينات في كل فترة ns

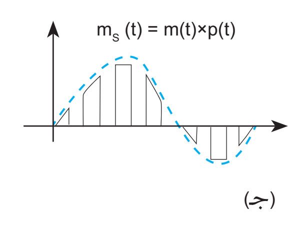
$$ns = \frac{f_s}{f_m} = \frac{2000}{1000} = 2$$

## أمثلة على عملية أخذ العينات

يبين شكل (8) مثالاً توضيحياً لعملية اخذ العينات .

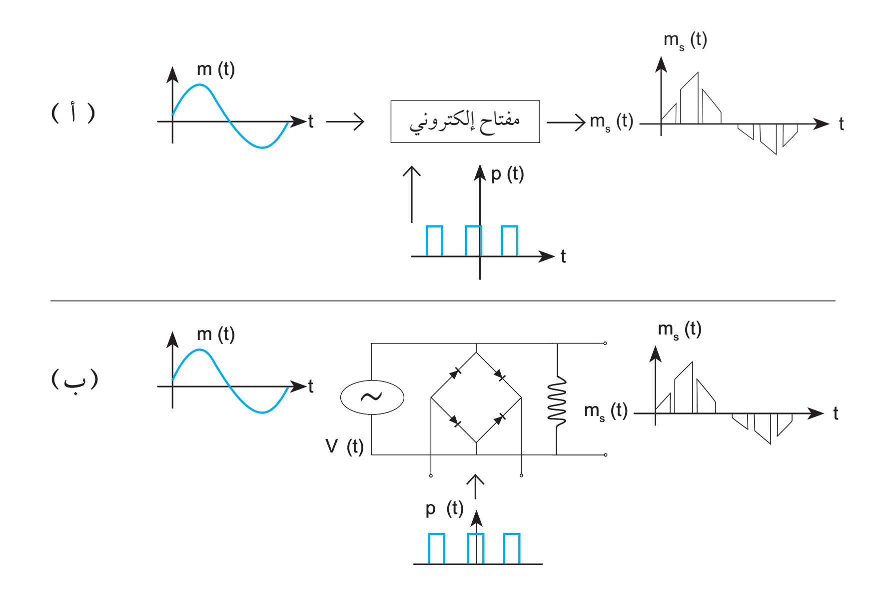



شكل (٨) : مثال على أخذ العينات

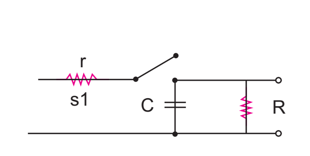
نلاحظ من شكل(8) أن عملية أخذ العينات تعتمد على ضرب إشارة نبضية p (t) (نبضات متماثلة بالشكل ومتساوية بالاتساع والعرض والتباعد ) بإشارة المعلومات m (t) ، ومن ثم الحصول على عينات معبرة عن الإشارة الأصلية ، ويمكن استخدام العديد من الدارات العملية لأخذ العينات كما هو موضح في الشكل (9) .

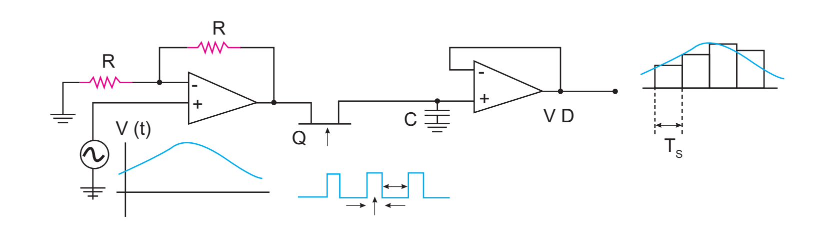



شكل (٩): مثال لأخذ العينات بطريقة المفتاح الإلكتروني

كما ويمكن أخذ العينات باستخدام دارة الأخذ والحفاظ (S/H) التي تعتمد على مدة إغلاق المفتاح (τ) بحيث تكون كافية لشحن المواسع كما في الشكل (10).

S/H Sample and Hold




شكل (١٠): مثال لأخذ العينات بطريقة الأخذ والحفاظ (S/H)

## مرحلة التكميم Quantization

مرحلة التكميم هي المرحلة الثانية من مراحل تحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية، وتهدف هذه المرحلة إلى تقريب قيمة كل عينة إلى أقرب مستوى من مستويات التكميم؛ مما يسهل عملية ترميزها.

لنفرض أن إشارة المعلومات m (t) محدودة الاتساع ضمن الفترة [-A ,A] وتقسم هذه الفترة إلى عدد من المستويات أو التدريجات المتساوية Δ كما يأتي:

$$\Delta = \frac{2A}{L} \quad \text{.................. (1)}$$

حيث: L: عدد المستويات أو التدريجات، وفي حالتنا هذه استخدمنا.

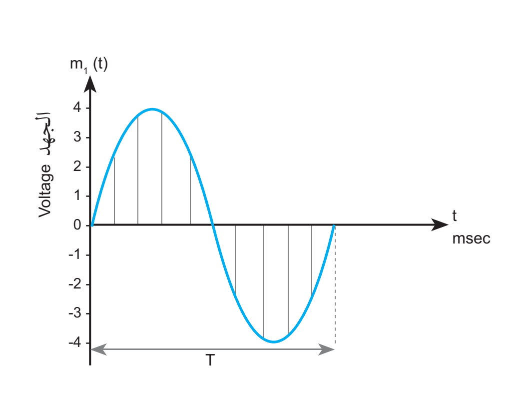
$L = 2^n = 2^3 = 8$

n: تمثل عدد الخانات الثنائية اللازمة للمرمز Coder لتمثيل كل عينة.

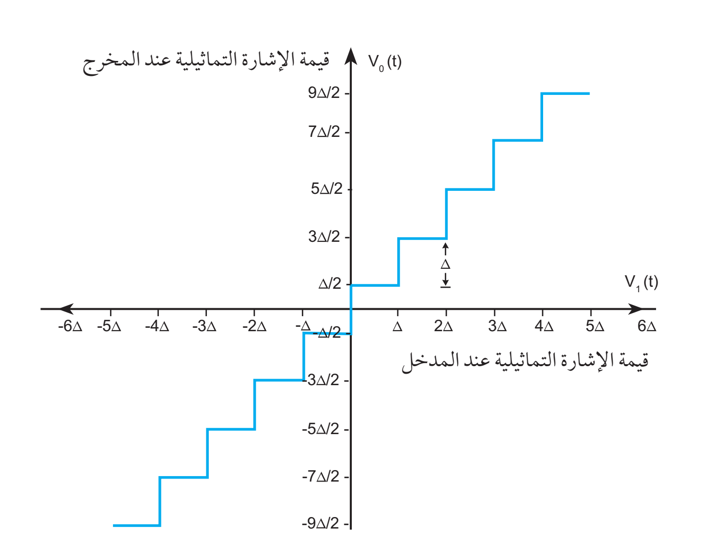
الشكل (11) يبين الإشارة $m_s$ (t)، وهي عبارة عن خرج دارة أخذ العينات، وهي تمثل دخل لدارة المكمم. لاحظ أن هذه الإشارة منفصلة في مجال الزمن، وتتكون من 10 عينات في كل فترة (T).

أما في شكل (12)، فقد تم تقسيم المسافة بين أقصى قيمة للإشارة A = 4 وأدنى قيمة للإشارة 4− = A− إلى 8 مستويات (L = 8)، حيث إن المسافة بين كل مستوى والمستوى الذي يليه تحسب من المعادلة (1).

$$\Delta = \frac{2A}{L} = \frac{2 \times 4}{8} = 1$$




شكل (١١): مخرج دارة اخذ العينات




شكل (١٢): مخرج دارة أخذ العينات

وقد تم حصر المستويات في الفترة $[\frac{7\Delta}{2}, \frac{-7\Delta}{2}]$، أي في الفترة [3.5 , -3.5] وبزيادة Δ = 1 لكل مستوى عن المستوى الذي يسبقه.

الجدول (1) يوضح رقم كل عينة، القيمة الحقيقية للعينة، القيمة التقريبية للعينة، خطأ التكميم (Quantization Error)، المستوى التي قربت إليه العينة، وترميز كل عينة.

**ملاحظـة** خطأ التكميم = (القيمة الحقيقية للعينة) – (القيمة التقريبية للعينة).

| رقم العينة | القيمة الحقيقية للعينة (مدخل المكمم) | القيمة التقريبية للعينة (مخرج المكمم) | خطأ التكميم | المستوى التي قربت إليه العينة | الترميز (n = 3) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0.5 | -0.5 | 5 | 100 |
| 2 | 2.2 | 2.5 | -0.3 | 7 | 110 |
| 3 | 3.8 | 3.5 | 0.3 | 8 | 111 |
| 4 | 3.8 | 3.5 | 0.3 | 8 | 111 |
| 5 | 2.2 | 2.5 | -0.3 | 7 | 110 |
| 6 | 0 | 0.5 | -0.5 | 5 | 100 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | -2.2 | -2.5 | 0.3 | 2 | 001 |
| 8 | -3.8 | -3.5 | -0.3 | 1 | 000 |
| 9 | -3.8 | -3.5 | -0.3 | 1 | 000 |
| 10 | -2.2 | -2.5 | 0.3 | 2 | 001 |

جدول (١):

## تشويش التكميم :Quantization Noise

نلاحظ من جدول (1) أن هناك فرقاً بين القيمة الحقيقية للعينة (عند مدخل المكمم) والقيمة التقريبية للعينة (عند مخرج المكمم)، ويدعى هذا الفرق تشويش التكميم ويكون هذا التشويش محدوداً بالفترة $[\frac{-\Delta}{2}, \frac{\Delta}{2}]$ أي [0.5- ,0.5]، ويعبر رياضياً عن تشويش التكميم من خلال المعادلات الآتية:

معدل الطاقة في الإشارة الجيبية:

$$S = \frac{A^2}{2} \qquad (2)$$

حيث: A تمثل اتساع الإشارة الجيبية.

معدل الطاقة في تشويش التكميم:

$$N_q = \frac{\Delta^2}{12} = \frac{A^2}{3L^2} \qquad (3)$$

حيث: L عدد المستويات المستخدمة في دارة المكمم.

وبقسمة المعادلة (2) على المعادلة (3) نحصل على نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة إشارة التشويش (SNR) بالمعادلة الآتية:

$$SNR = \left\{\frac{S}{N_q}\right\} = \frac{3}{2} L^2 \qquad (4)$$

من المعادلة (4)، لاحظ أن SNR تتناسب تناسباً طردياً مع مربع عدد المستويات $L^2$؛ أي كلما زاد عدد المستويات المستخدمة في دارة المكمم، كانت SNR أعلى؛ الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض تأثير التشويش.

**مثال (٢):** إذا علمت أن الإشارة الجيبية $m(t) = 4 \sin(2\pi 100 t)$، أرسلت بواساطة نظام تضمين نبضي مرمز PCM، والذي يستخدم عدد المستويات $L = 8$، $\Delta = 1$ Volt. أوجد ما يأتي:

**الحل:** - معدل الطاقة S من المعادلة (2)

$$S = \frac{A^2}{2} = \frac{4^2}{2} = \frac{16}{2} = 8\text{Watt}$$

- معدل طاقة تشويش التكميم $N_q$ من المعادلة (3)

$$N_q = \frac{\Delta^2}{12} = \frac{A^2}{3L^2} = 0.083 Watt$$

- مقدار SNR من المعادلة (4):

$$SNR = \left\{\frac{S}{N_q}\right\} = \frac{8}{0.083} = 96.4$$

ونستطيع أيضا أن نحسبها بطريقة أخرى:

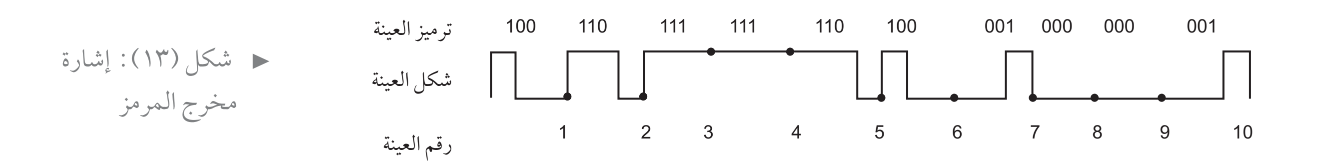
$$SNR = \frac{3}{2} L^2 = \frac{3}{2} 8^2 = 96$$

### مرحلة الترميز Coding

مرحلة الترميز هي المرحلة الثالثة والأخيرة من مراحل التحويل التماثلي- الرقمي، وفيها يتم إعطاء كل عينة عند مخرج المكمم ترميزاً ثنائياً (Binary Coding). وفي مثالنا السابق مثلنا كل عينة بثلاث خانات ثنائية؛ ذلك لأن المكمم له 8 مستويات، وهناك علاقة بين عدد المستويات L وعدد الخانات الثنائية n، وهي:

$$L = 2^n \qquad ..................(5)$$

أما شكل الإشارة الخارجة من المرمز بالاعتماد على المثال السابق والبيانات في جدول (1) لعشر عينات يكون على الشكل التالي، شكل (13).




شكل (١٣): إشارة مخرج المرمز

## التضمين النبضي (Pulse Modulation)

تعتمد هذه الطرق على استخدام سلسلة نبضات منتظمة كموجة حاملة، ويتم تغيير خصائص النبضات من حيث: الاتساع، العرض (التردد)، والمكان، حسب قيمة العينات.

لذلك تم تصنيف هذه الطرق إلى ثلاث، هي:

PAM Pulse Amplitude Modulation
PWM Pulse Width Modulation
PPM Pulse Position Modulation

### ١. تضمين اتساع النبضة PAM

يتناسب اتساع النبضة (الموجة الحاملة) في النقطة الزمنية المحددة تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في نفس اللحظة الزمنية.

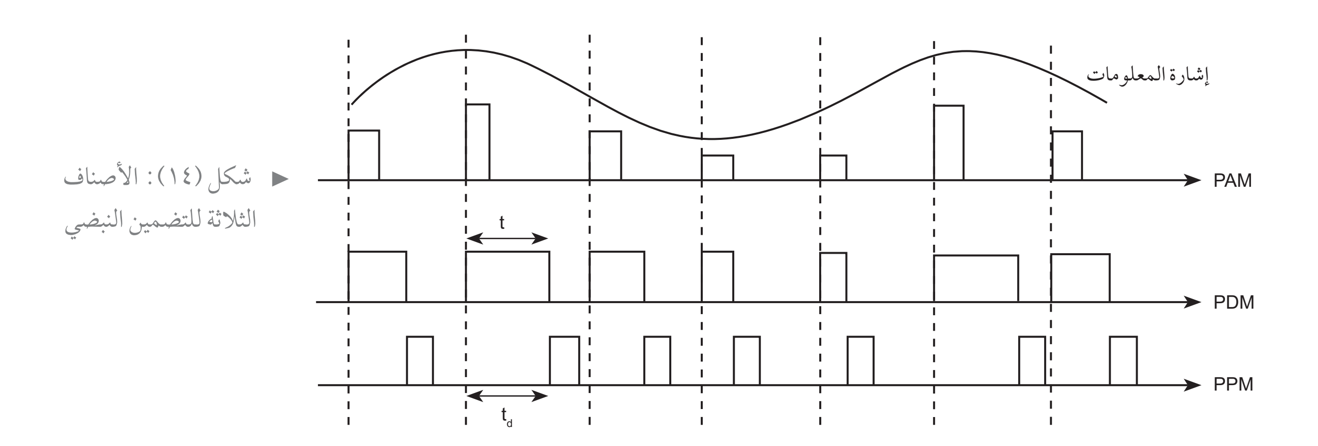
### ٢. تضمين عرض النبضة PWM

يتناسب عرض النبضة (فترة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في نفس اللحظة الزمنية مع بقاء اتساع النبضة ثابتاً، حيث يزداد عرض النبضة بازدياد ارتفاع العينة، ويعدّ هذا التضمين أقل تأثراً بالتشويش مقارنة مع تضمين سعة النبضة.

### ٣. تضمين مكان النبضة PPM

يتناسب موقع النبضة (بداية نبضة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في نفس اللحظة الزمنية، مع بقاء اتساع وعرض النبضة ثابتين، حيث يزداد تأخير موقع النبضة بازدياد اتساع العينة، ويعدّ الأقل تأثراً بالتشويش.

يوضح شكل (14) الأصناف الثلاثة لتضمين النبضات التماثلي.




شكل (١٤): الأصناف الثلاثة للتضمين النبضي

تستخدم هذه الأنظمة في معدات الميكروويف والليزر وأنظمة الاتصالات قصيرة المدى، ومن سيئاتها أنها تحتاج إلى عرض نطاق ترددي كبير، يمكن استخدامه في إرسال مزيد من الإشارات.

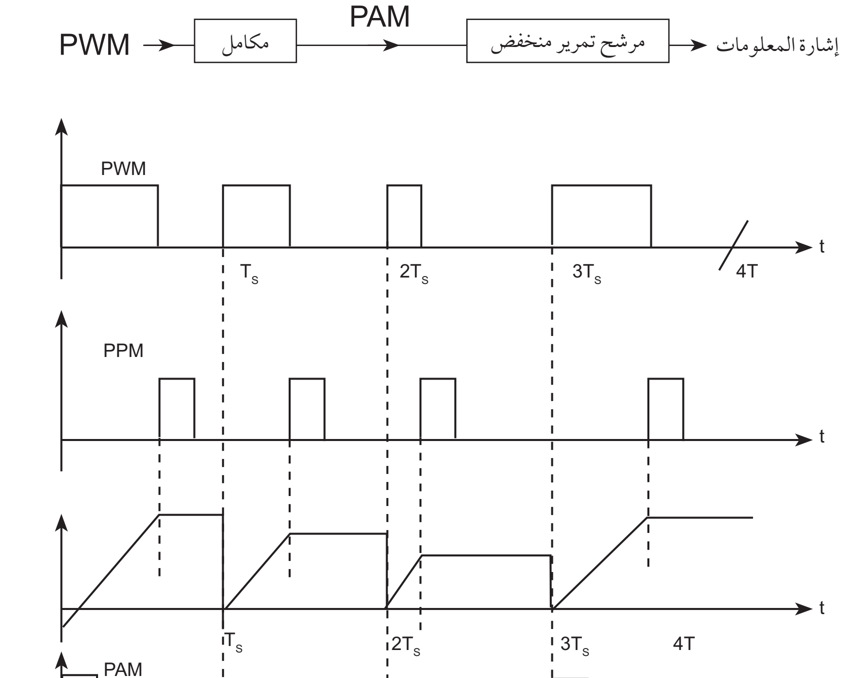
### كشف إشارات التضمين النبضي

PAM — LPF — M (t)

الشكل (١٥): كشف إشارة PAM

يتم كشف إشارة تضمين اتساع النبضة PAM بوساطة مرشح تمرير منخفض (LPF). لاحظ شكل (15).

ويتم كشف إشارة تضمين عرض النبضة (PWM) وإشارة تضمين موقع النبضة (PPM) باستخدام دارة التكامل لتحويلها إلى إشارة تضمين سعة النبضة PAM، ومن ثم كشفها باستخدام مرشح تمرير منخفض. لاحظ شكل (16).




► شكل (١٦): التحويل من إشارتي PPM، PWM إلى إشارة PAM

## التضمين النبضي المرمز PCM

يعدّ هذا التضمين من أكثر الأنظمة شيوعاً واستخداماً في أنظمة الاتصال الهاتفية لما يتميزبه من :

١ . فعالية عالية ضد التشويش .

٢ . استخدامه في التجميع الرقمي TDM .

PCM Pulse Code Modulation

ومن عيوبه :

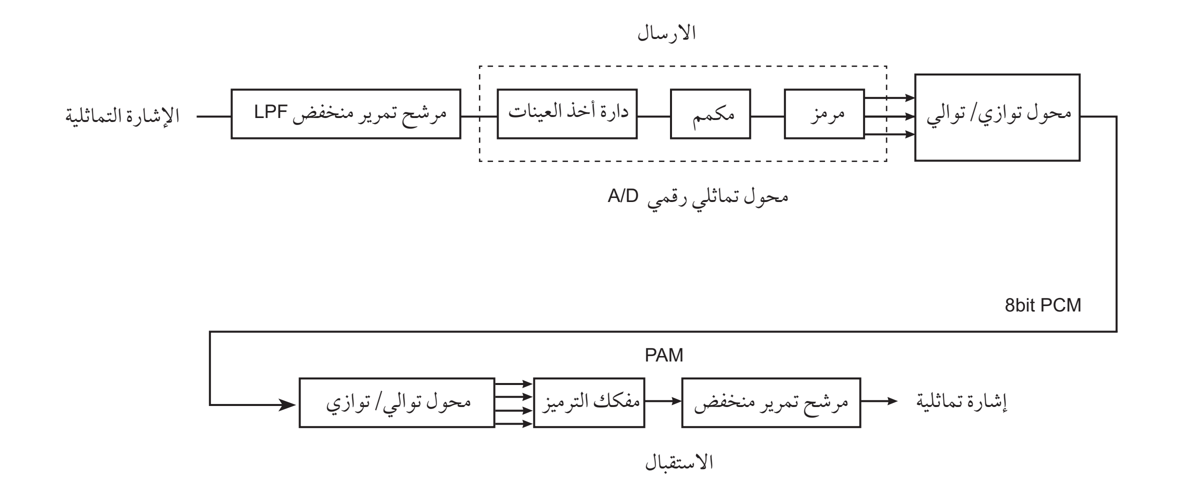
١ . حاجته إلى عرض نطاق ترددي كبير .

٢ . تعقيد أجهزة الإرسال والاستقبال الخاصة به .

يتم تقليل عرض النطاق الترددي اللازم لعملية الإرسال في الاتصالات الهاتفية باستخدام النطاق الترددي (3.4kHz ....0.4kHz ) من ترددات صوت الإنسان كنطاق للقناة الهاتفية ، حيث تتركز معظم الطاقة الصوتية ضمن هذا النطاق من الترددات .

## توليد وكشف إشارة PCM

يبين شكل (17) المخطط الصندوقي للمكونات الرئيسة لعملية توليد إشارة PCM أو ألية كشف هذه الإشارة ، والتي تعتمد على تحويل الإشارة التماثلية (الصوتية) إلى إشارة رقمية .




شكل (١٧): إرسال واستقبال إشارة PCM

يمكن تلخيص آلية توليد إشارة PCM على النحو الآتي:

١. يتم إدخال الإشارة التماثلية إلى مرشح تمرير منخفض (LPF)؛ وذلك لتمرير الترددات الصوتية ضمن المجال الترددي (3.4kHz ....0.4kHz).

٢. تؤخذ العينات بوساطة دارة أخذ العينات بتردد $f_s \geq 2f_m$ ($f_m$ تردد إشارة القناة الهاتفية)، و بمعدل يساوي 8000 عينة/ ثانية؛ أي إن $f_s = 8kH_z$، (وهذا أكبر من 6.8KHz)، لماذا؟

٣. يتم تكميم العينات بوساطة دارة التكميم، حيث يقوم المكمم بتقريب العينة إلى أقرب مستوى، ويستخدم 256 مستوى في حالة اعتماد 8bit لكل عينة في مرحلة الترميز ($2^8 = 256$).

٤. يتم ترميز العينات بوساطة دارة الترميز، وذلك بتمثيل كل مستوى بعدد ثنائي مكون من 8bit، وتخرج هذه الإشارات بشكل متوازٍ.

٥. يستخدم محول توازٍ/ توالٍ لتحويل الاشارات المتوازية إلى اشارات متوالية.

٦. تسمى الإشارة الخارجة من محول توازي/ توالي إشارة PCM بسرعة تساوي (8*8000 = 64000) 64kbit/sec.

**أما كشف إشارة PCM فيتم على النحو الآتي:**

١. تدخل إشارة PCM المستقبلة إلى محول توالٍ/ توازٍ لتحويل إشارة PCM المتوالية إلى اشارات متوازية.

٢. يقوم مفكك الترميز بتحول الإشارات المتوازية إلى نبضات تضمين الاتساع PAM.

٣. يستخدم مرشح تمرير منخفض LPF للحصول على الإشارة الصوتية المرسلة.

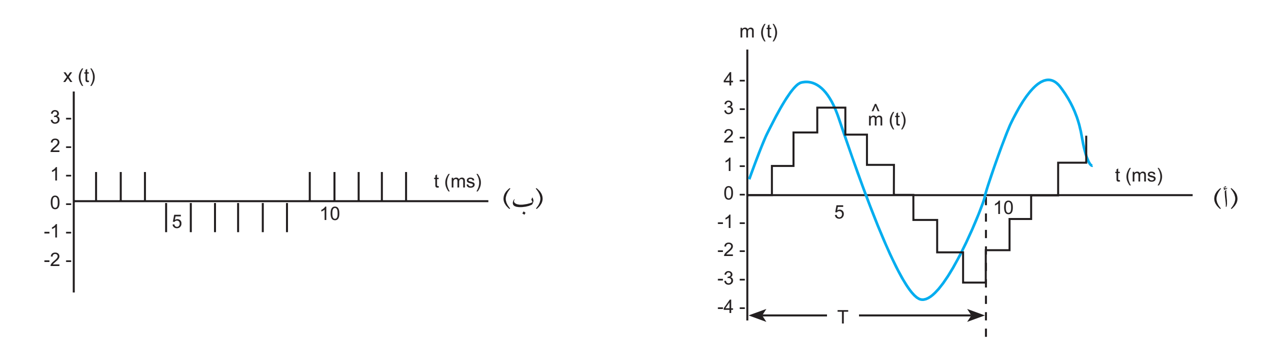
## التضمين النبضي-الرمزي التفاضلي

في هذا التضمين يتم إرسال كل عينة على شكل قيمة تفاضلية نسبة إلى العينة السابقة، بدلاً من إرسالها كقيمة مطلقة، لذلك يعمل هذا التضمين على تقليل عرض النطاق الترددي المطلوب، وبتقليل عدد البتات الممثلة للعينة، ولا يفضل استخدام هذا التضمين في حالة كان الفرق بين العينة الحالية والعينة السابقة كبيراً.

## تضمين دلتا (Delta Modulation Δ M)

في هذا التضمين يتم إرسال نبضة موجبة في حال كان الفرق بين العينة الحالية والعينة السابقة موجباً، ونبضة سالبة في حال كان الفرق سالباً، وتمثل النبضة بقيمة صغيرة ثابتة تسمى Δ، وبهذا نلاحظ أنه تم تقليل النطاق الترددي مقارنة بـ PCM. لاحظ الشكل (18–أ / 18–ب).

وتتميز الدارات الإلكترونية المستخدمة في توليد إشارة تضمين Δ بسهولة تركيبها وبساطتها.




شكل (١٨): (أ) إشارة المعلومات والتقريب الدرجي منها/ (ب) إشارة تضمين دلتا

## مقارنة بين نظامي PCM, Δ M

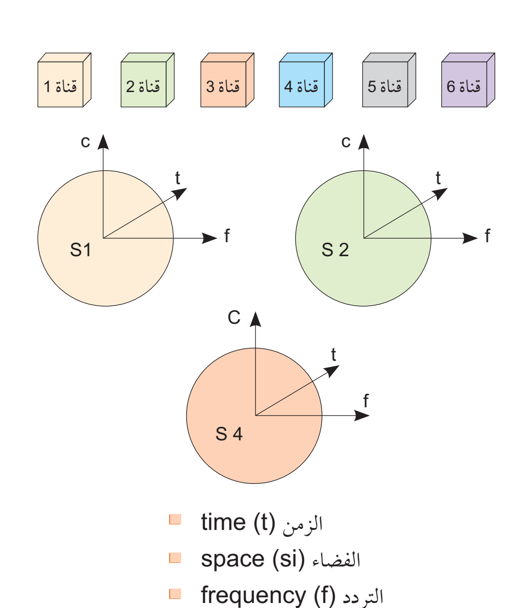
يبين الجدول الآتي مقارنة بين PCM، Δ M

| الرقم | الخاصية | نظام PCM | نظام Δ M |
|---|---|---|---|
| 1 | نظام الإرسال | معقد | بسيط |
| 2 | التكلفة | عالية | متوسطة |
| 3 | عدد البتات للعينة | تمثل العينة بأكثر من بت | تمثل العينة ببت واحد |
| 4 | عرض النطاق الترددي | كبير | صغير |
| 5 | محولات D/A، A/D | يحتاج إلى وجود محولات | لا يحتاج |

عملياً يعدّ نظام PCM أكثر شيوعاً واستخداماً؛ لاعتماد هذا النظام عالمياً في الإرسال الهاتفي.

تستخدم تقنيات التجميع لإرسال إشارات متعددة على نفس القناة، ذلك للاستغلال الكامل لعرض النطاق الترددي لقناة الاتصال، فمثلاً في الاتصالات الهاتفية تستخدم عمليات الإرسال المتعدد لإرسال عدد كبير من المكالمات الهاتفية بين المقاسم على نفس قناة الاتصال، وفي الاتصالات اللاسلكية فإن الفضاء يشكل نفس قناة الاتصال، عندها لابد من استخدام الإرسال المتعدد لكي يمكن نقل أكثر من إشارة في الوقت نفسه، شكل (19).

وهناك خمسة أنواع من الإرسال المتعدد:




شكل (١٩): SDM

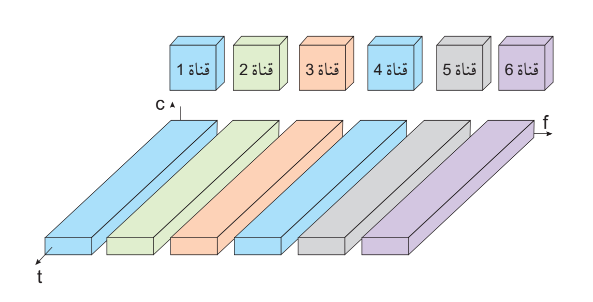
### ١. الإرسال المتعدد بالتقسيم المكاني SDM

تقسم الترددات والقنوات المتاحة على المناطق الجغرافية في الاتصالات اللاسلكية، حيث تعطى كل منطقة نطاقاً من الترددات يختلف عن المنطقة المجاورة لها لمنع حدوث التداخل، ويعاد تكرار الترددات في مناطق أبعد، ويمكن استخدام الأنواع الأخرى من الإرسال المتعدد في كل منطقة.

### ٢. الارسال المتعدد بالتقسيم الترددي FDM

يعتمد عمل هذا النوع على فصل ترددات الإشارات المرسلة وذلك بتخصيص نطاق ترددي معين لكل جهاز إرسال، ويتم ذلك بتعديل ترددات إشارة المعلومات بإشارات حاملة للحصول على نطاقات ترددية منفصلة، وإرسالها معاً في نفس الوقت على نفس قناة الاتصال. لاحظ شكل (20).

ويقوم جهاز الاستقبال بفصل هذه الإشارات باستخدام مرشحات تمرير النطاق.




شكل (٢٠): FDM

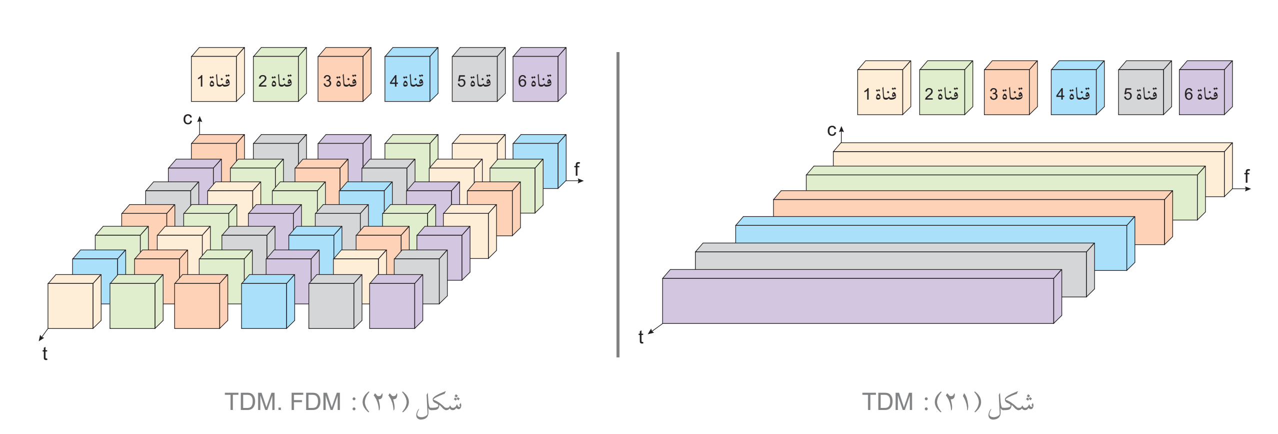
SDM Space Division Multiplexing
FDM Frequency Division Multiplexing
TDM Time Division Multiplexing
CDM Code Division Multiplexing

### الإرسال المتعدد بالتقسيم الزمني TDM

يعتمد مبدأ عمل هذا النوع على تقسيم الزمن بين أجهزة الإرسال في خط اتصال واحد، وذلك بالاستفادة من الفترات الزمنية الخالية، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة أنظمة الاتصالات، ويتطلب هذا التقسيم المزامنة بين أجهزة الإرسال والاستقبال. لاحظ شكل (21).

### الإرسال المتعدد بالتقسيم الزمني و الترددي TDM ,FDM

في هذا النوع يتم الاستفادة من ميزات التقسيم الزمني والترددي، وذلك بتخصيص أكثر من نطاق ترددي للبث وتقسيم هذه النطاقات زمنياً بين أجهزة الاستقبال والإرسال، لكن هذا النوع يحتاج إلى مزامنة وتنسيق كبير بين أجهزة الاستقبال والرسال بالإضافة إلى تعقيد هذه الأجهزة. لاحظ شكل (22).

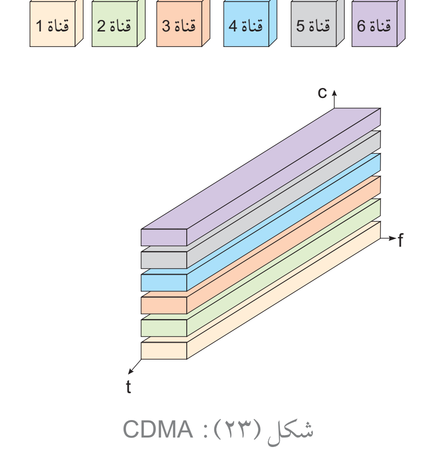



شكل (٢١): TDM

شكل (٢٢): TDM. FDM

### الإرسال المتعدد بالتقسيم الرمزي CDMA:

في هذا النوع من الإرسال المتعدد تستغل كافة القنوات المتاحة في عملية الإرسال، وذلك بإعطاء كل جهاز إرسال رمزاً خاصاً، ومن ثم استخدام كامل النطاق المتاح للإرسال. وفي جهاز الاستقبال يمكن التعرف على إشارات كل جهاز بناء على رمزه، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة الأنظمة التي تستخدمه مقارنة بالانظمة السابقة، كما أنه لايحتاج إلى مزامنة بين جهاز الإرسال والاستقبال. لاحظ شكل (23).




شكل (٢٣): CDMA

## ترميز خط النقل

لتنظيم وترتيب الرموز الثنائية المعبرة عن المعلومات الثنائية المرسلة بوساطة خط الاتصال، يستخدم ترميز بنماذج مختلفة، بهدف:

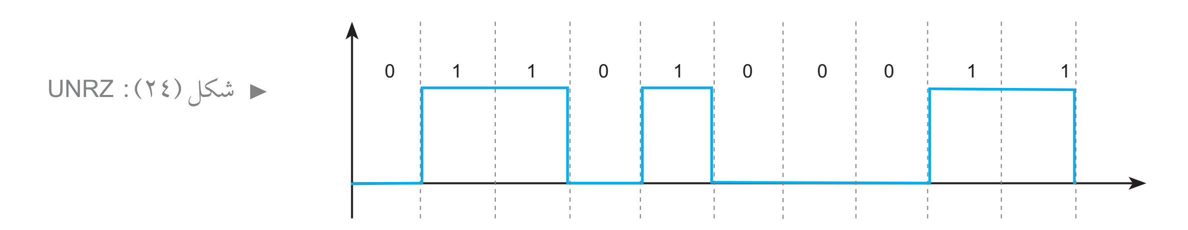
١ . تقليل النطاق الترددي، لتلائم مع النطاق الترددي لخط النقل.

٢ . تقليل مركبة الفولتية المستمرة (DC) .

٣ . زيادة سرعة الإرسال عبر قناة الاتصال .

ومن أهم هذه النماذج :

١ . نموذج أحادي القطبية مع عدم العودة للصفر (UNRZ) ، وتمثل حالة المنطق (1) بوساطة نبضة ثابتة الاتساع، في حين تمثل حالة المنطق (0) بقطع الإشارة كما هو موضح بشكل (24) .

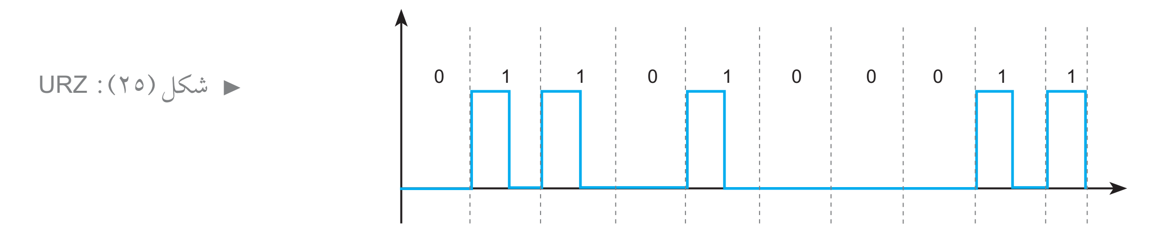


شكل (٢٤) : UNRZ

ومن عيوبه أنه يحتوي على مركبة الفولتية مستمرة (DC)، ولذلك فهو لا يستخدم إلا في المسافات القريبة .

٢ . نموذج أحادي القطبية مع العودة إلى الصفر (URZ)، تمثل حالة المنطق (1) بوساطة نبضة ثابتة الاتساع، ولكن بعرض نطاق يعادل نصف زمن الثنائية (bit)، ولا ترسل إشارة في حالة الصفر (0) كما هو موضح بشكل (25) .

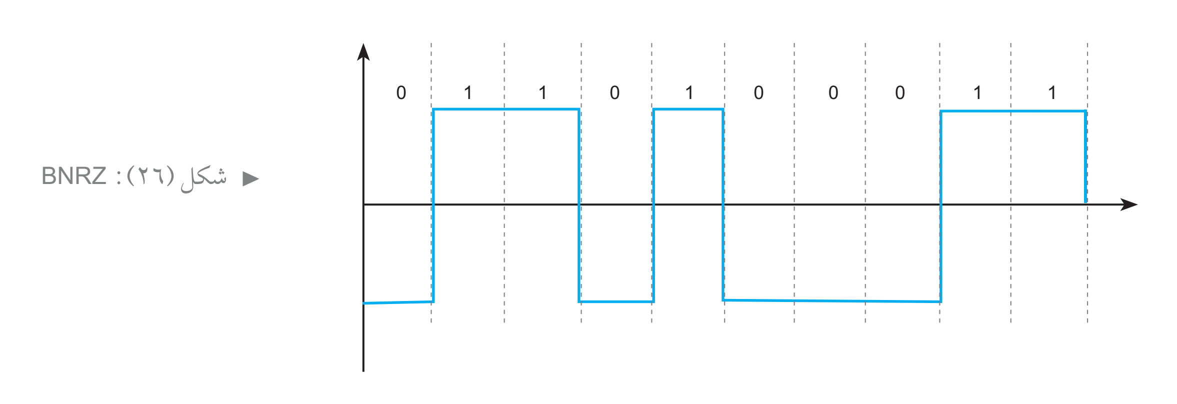
UNRZ Unipolar Non Return to Zero
URZ Unipolar Return to Zero



شكل (٢٥) : URZ

يعدّ هذا النموذج أفضل من النموذج السابق ، لأنه يقلل مركبة الفولتية المستمرة (DC)

٣ . نموذج ثنائي القطبية مع عدم العودة إلى الصفر (BNRZ)، تمثل حالة المنطق (1) وحالة المنطق (0) بوساطة نبضات ثابتة الاتساع ومتعاكسة في القطبية ، كما هو موضح بشكل (26) .

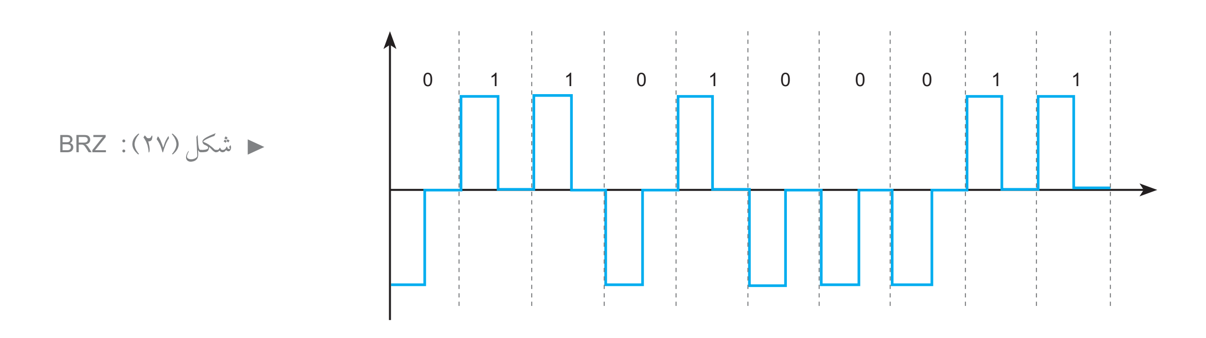


شكل (٢٦) : BNRZ

BNRZ Bipolar Non Return to Zero
BRZ Bipolar Return to Zero

ويمتاز هذا النموذج بانخفاض مركبة الفولتية المستمرة (DC) مقارنة مع نموذج أحادي القطبية.

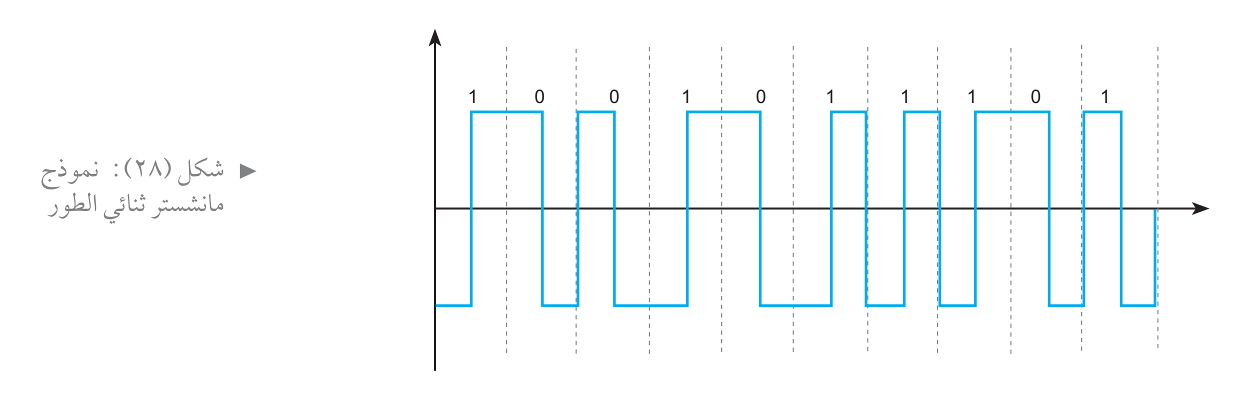
٤ . نموذج ثنائي القطبية مع العودة إلى الصفر (BRZ)، تمثل حالة المنطق (1) وحالة المنطق (0) بوساطة نبضات ثابتة بالاتساع ومتعاكسة في القطبية في نصف زمن الثنائية، كما في الشكل (27).




▶ شكل (٢٧): BRZ

وهو الأفضل في خفض مركبة الفولتية المستمرة (DC)، ويستخدم على نطاق واسع للإرسال.

٥ . نموذج مانشستر ثنائي الطور (Biphase Manchester Code)، تمثل حالة المنطق (1) بقطبية سالبة ثابتة الاتساع لنصف زمن الثنائية، ثم ينتقل إلى قطبية موجبة في نصفها الآخر، ويحدث العكس في حالة المنطق 0. كما هو موضح في الشكل (28).




▶ شكل (٢٨): نموذج مانشستر ثنائي الطور

ويعدّ الأفضل، والأكثر استخداماً مقارنة بالنماذج السابقة.

## نشـــاط

ابحث عن أنواع أخرى من نماذج ترميز خط النقل.

## طرق التضمين الرقمية

تستخدم طرق أخرى لنقل الإشارة الرقمية، مثل تضمين إزاحة الاتساع (ASK)، وتضمين الإزاحة الترددية (FSK)، وتضمين الإزاحة الطورية (PSK).

تعد هذه الأنواع من أبسط أنواع التضمين الرقمي، وأكثرها استخداماً في العديد من التطبيقات السلكية واللاسلكية، وتتميز بانخفاض النطاق الترددي اللازم لعملية الإرسال في الأنظمة السلكية، بالإضافة إلى أن الإشارة الرقمية لايمكن ارسالها لاسلكيا، إلا بتحميلها على إشارة تماثلية في الأنظمة اللاسلكية.

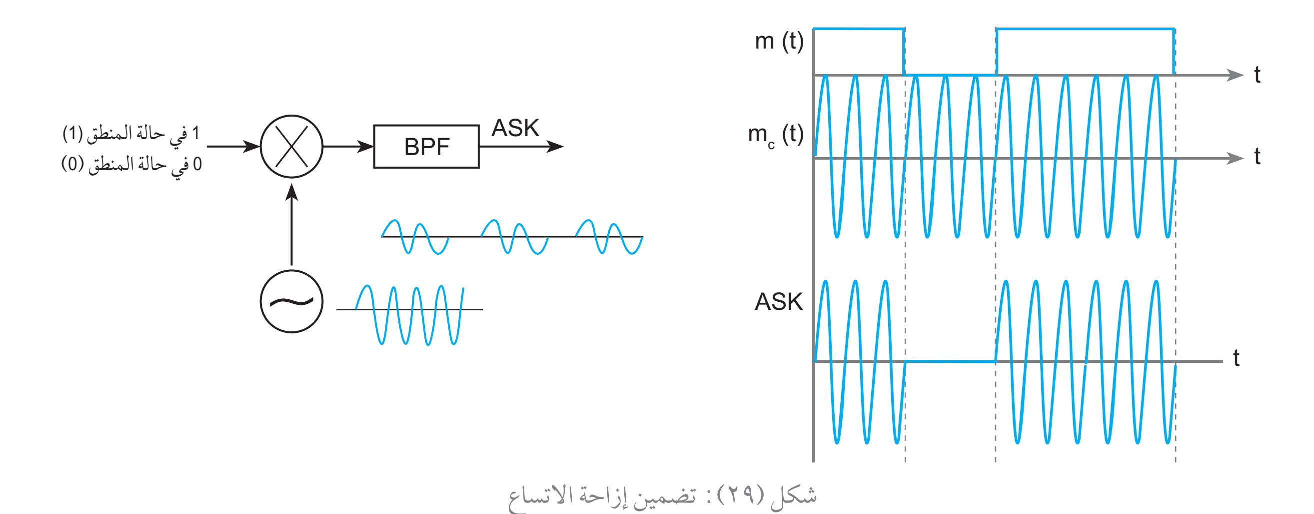
وقد تم إدخال بعض التحسينات عليها بغرض:

١. تقليل تأثير التشويش. ٢. زيادة سرعة النقل. ٣. تقليل عرض النطاق.

وتستخدم هذه الطرق في العديد من التطبيقات اللاسلكية مثل الهواتف اللاسلكية، والخليوية، وأنظمة المناداة والميكروويف والأقمار الصناعية، وأنظمة التحكم، كما تستخدم في المودم وفي الاتصالات السلكية.

### تضمين إزاحة الاتساع (ASK)

يقصد به إزاحة اتساع الموجة الحاملة من القيمة الأدنى في حالة الصفر (0) إلى القيمة العليا في حالة الواحد (1)، ويوضح شكل (29) مفهوم هذا التضمين.



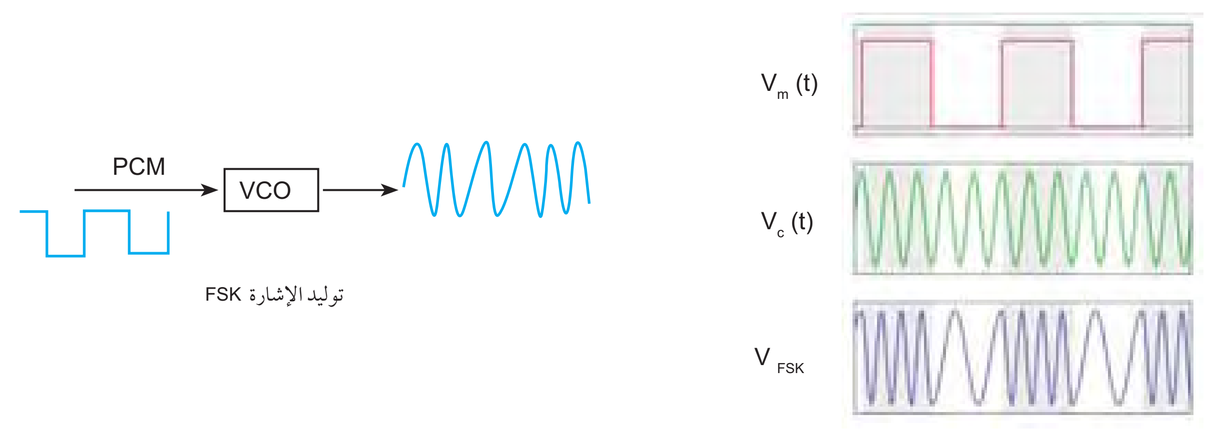

شكل (٢٩): تضمين إزاحة الاتساع

يتم كشف هذه الإشارة باستخدام كاشف الغلاف (Envelope Detector) ومن مميزاته:

١. يستخدم عرض نطاق ترددي قليل. ٢. حساس جدا للتغيرات غير الخطية.

### تضمين الإزاحة الترددية (FSK)

يقصد بهذا التضمين إرسال الواحد المنطقي (1) والصفر المنطقي (0) على ترددات مختلفة بحيث تأخذ إحدى الحالتين (أي تكون قيمة أحد الترددين أعلى من قيمة التردد الآخر). ويوضح شكل (30) مفهوم هذا التضمين.




شكل (٣٠): تضمين الإزاحة الترددية

VCO : مذبذب متحكم به بالفولت، ويستخدم في الكثير من الأنظمة اللاسلكية.

## تضمين الإزاحة الطورية (PSK)

يعتمد هذا التضمين على تغير فرق الطور، حيث يتغير طور الإشارة الحاملة حسب إشارة المدخل الثنائية، ويعدّ من أكثر الأنواع شيوعاً واستخداماً في الاتصالات الرقمية، وهذا يعود للأسباب الآتية:

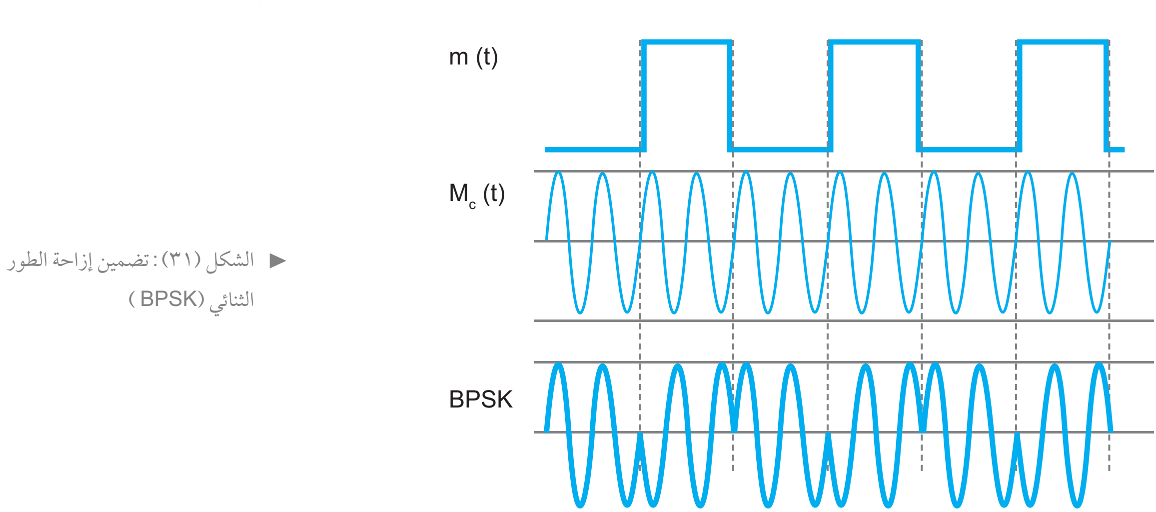
١ . صغر عرض النطاق الترددي.
٢ . يتمتع هذا التضمين بجودة عالية.
٣ . غير حساس للتغيرات غير الخطية في الاتساع.
٤ . يحتاج إلى قدرة إرسال أقل من الأنظمة الأخرى.

| | |
|---|---|
| ASK | Amplitude Shift Keying |
| FSK | Frequency Shift Keying |
| VCO | Voltage Controlled Oscillator |
| GMSK | Gaussian Minimum Shift Keying |
| PSK | Phase Shift Keying |
| QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |

ومن أنواعه:

### أ . تضمين الإزاحة الطورية الثنائية (Binary PSK)

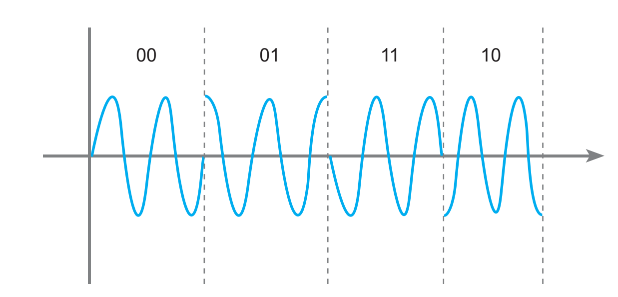
وفيه يأخذ طور الموجة الحاملة إحدى قيمتين محتملتين، يبين شكل (31) مفهوم هذا التضمين.

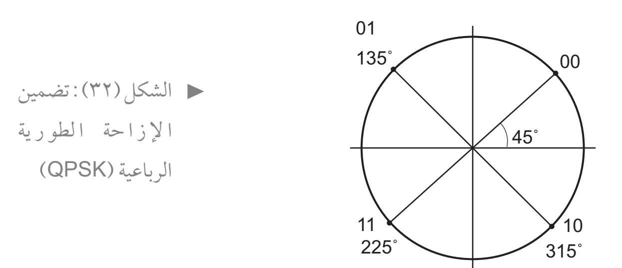



الشكل (٣١): تضمين إزاحة الطور الثنائي (BPSK)

ب . **تضمين الإزاحة الطورية الرباعية (QPSK)**

هو عبارة عن تقنية تضمين رقمي بحيث يأخذ طور الموجة الحاملة أحد أربع قيم محتملة ، هي : $[\ 2\pi\ ,\ \pi\ ,\ \frac{\pi}{2},\ 0\ ]$ ، لاحظ شكل (32) .




الشكل (٣٢) : تضمين الإزاحة الطورية الرباعية (QPSK)

ج. **تضمين الإزاحة الطورية متعددة المستويات (MPSK) .**

هو تقنية تضمين رقمي ، بحيث يأخذ طور الموجة الحاملة قيمة معينة من ضمن مجموعة من القيم المحتملة وهذا يعتمد على إشارة النطاق الأساسي الثنائية ، حيث :

$$N_b = L_2og\ M \longrightarrow = M = 2^N$$

حيث إن : Nb : هو عدد الخانات لكل رمز (طور) .

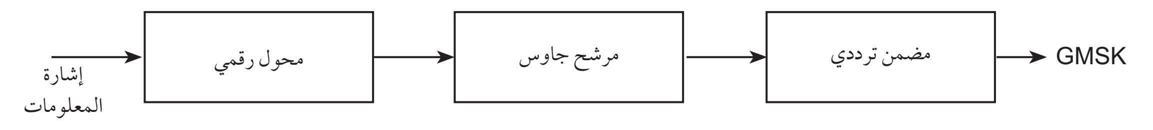
M : هو عدد الحالات الممكنة (الأطوار المختلفة) .

**نشـــــاط**

إبحث عن نظام تضمين الإزاحة الطورية الثماني (8PSK) .

د . **تضمين لإزاحة الدنيا الجاوسي GMSK**

هو نوع من تضمين الإزاحة الترددية ذات الطور المتصل ، وتحول المعلومات الرقمية 1− ⟵ 0 ، 1 ⟵ 1 ثم يستخدم مرشح جاوس لتمرير التردد المنخفض ، ويتم تضمين الإشارة باستخدام مضمن ترددي FM لتصبح الإشارة إشارة GMSK . إن استخدام مرشح جاوس يقلل من النطاق الترددي اللازم للإرسال ، ويقلل من حدوث التداخل بين القنوات المجاورة . لاحظ شكل (33) .




شكل (٣٣) : تضمين الإزاحة الدنيا الجاوسي

## الأسئلة

س١ : اشرح مع الرسم أنواع الإشارات الكهربائية .

س٢ : ارسم المخطط الصندوقي الذي يوضح عمل المحول التماثلي إلى رقمي (A/D) .

س٣ : عرف المفاهيم الآتية : نظرية العينات ، تشويش التكميم ، تضمين دلتا ، كاشف الغلاف ، نظام BPSK، نظام ASK، نظام GMSK .

س٤ : أذكر مزايا الأنظمة الرقمية .

س٥ : اذكر سلبيات الأنظمة الرقمية .

س٦ : اذكر مزايا وعيوب نظام PCM .

س٧ : إذا أعطيت إشارة المعلومات التالية : $m(t) = 10 \cos (1000 \pi t)$

أ . أوجد ما يأتي : سعة الإشارة، تردد الإشارة ( $f_m$ )، تردد عينات الإشارة $f_s$، عدد العينات في كل فترة .

ب . إذا استخدم مرمز لتمثيل كل عينة بثلاث خانات ، أوجد عدد المستويات L ومقدار $\Delta$ .

س٨ : أعط مثالاً عملياً لدارة أخذ العينات .

س٩ : إذا أرسلت إشارة المعلومات $m(t) = 10 \cos (800 \pi t)$ بوساطة نظام تضمين PCM

( $\Delta = 1$ ، $L = 8$ )، فأوجد ما يلي :

أ . معدل طاقة الإشارة . ب . معدل طاقة التشويش . ج. مقدار SNR.

س١٠ : اشرح مع الرسم كيفية توليد وكشف إشارة PCM .

س١١ : إذا أعطيت الرمز الثنائي 01011001101 لإشارة معلومات ثنائية مرسلة بوساطة خط اتصال معين، ارسم إشارة الترميز الناتجة عند استخدام:

١ . نموذج ثنائي القطبية مع العودة إلى الصفر BRN .

٢ . نموذج ثنائي القطبية مع عدم العودة إلى الصفر BNRZ .

٣ . نموذج مانشستر ثنائي الطور .

س١٢ : عدد أنواع الإرسال المتعدد .

س١٣ : قارن بين نظام PCM ونظام $M\Delta$ .

س١٤ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

١ . الإشارات الخارجة من الآلات الحاسبة إشارات تماثلية .

٢ . تحتاج الأنظمة التماثلية إلى عرض نطاق ترددي كبير مقارنة مع الأنظمة الرقمية .

٣ . التكميم هو تقريب القيم اللحظية للعينات إلى مستويات محددة .

٤ . الترميز هو عملية إعطاء العينات رموزاً رقمية محددة .

٥ . يكون زمن أخذ العينات أكبر أو يساوي ضعف زمن إشارة المعلومات التماثلية .

٦ . كلما زاد عدد المستويات المستخدمة في دارة المكمم قل تأثير تشويش التكميم .

٧ . تكون العلاقة بين عدد المستويات L وعدد الخانات الثنائية n هي : $n = L^2$ .

٨ . يتناسب عرض النبضة تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في تضمين مكان النبضة .

٩ . تستخدم أنظمة التضمين النبضي في أنظمة الاتصالات قصيرة المدى .

١٠ . من مزايا التضمين PCM استخدامه في أنظمة التجميع الرقمي TDM .

١١ . يعدّ نظام دلتا ($\Delta$ M) أكثر تكلفة من نظام PCM .

١٢ . من أنواع الإرسال المتعدد التقسيم المكاني SDM .

١٣ . يمكن استخدام نماذج مختلفة من الترميز لزيادة النطاق الترددي .

١٤ . يعدّ نظام BPSK أحد تقنيات التضمين الرقمي حيث يتم إرسال الواحد المنطقي والصفر المنطقي على ترددات مختلفة .

١٥ . يعتبر نظام GMSK نموذجاً من نماذج الإزاحة الترددية ذات الطور المتصل .

س١٥ : اختر الإجابة الصحيحة في الأسئلة الآتية :

١ . من سلبيات أنظمة الاتصال الرقمية :

أ . التشويش العالي . ب . التكلفة العالية .

جـ . عدم الاستقرارية بالعمل . د . حاجتها لعرض نطاق ترددي كبير .

٢ . آلية التحويل التماثلي – الرقمي تعني :

أ . أخذ العينات وترميزها . ب . أخذ العينات وتكميمها .

جـ . تكميم العينات وترميزها . د . غير ذلك .

٣ . تشترط نظرية العينات تحقيق الشرط الآتية :

أ . $2f_m \leq f_s$ . ب . $f_m \geq f_s$ . جـ . $2f_m = f_s$ . د . $T_m/2 \leq T_s$

٤ . يكون معدل طاقة تشويش التكميم في نظام PCM ($L = 8$ ، $\Delta = 1$ )، هي :

أ . .96w ب . .1w جـ . 0.083w د . غير ذلك .

٥ . من طرق التضمين النبضي :

أ . ASK . ب . PSK . جـ . أ + ب . د . PPM .

٦ . من أنظمة التضمين الرقمي :

أ . GMSK. ب . PPAM . جـ . PWM د . غير ذلك .

الوحــــــدة

# ٢

# الهوائيــات وانتشــار الموجــات

# Antennas And Wave Propagation



# الهوائيات وانتشار الموجات

درست سابقاً المكونات الأساسية لنظام الاتصالات، وهي ثلاثة: المرسل والمستقبل والوسط الناقل بينهما.

في هذه الوحدة سيتم التركيز على دراسة منظومة الهوائيات والفضاء الحر كوسط ناقل.

## أهداف الوحدة

بعد دراستك هذه الوحدة، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

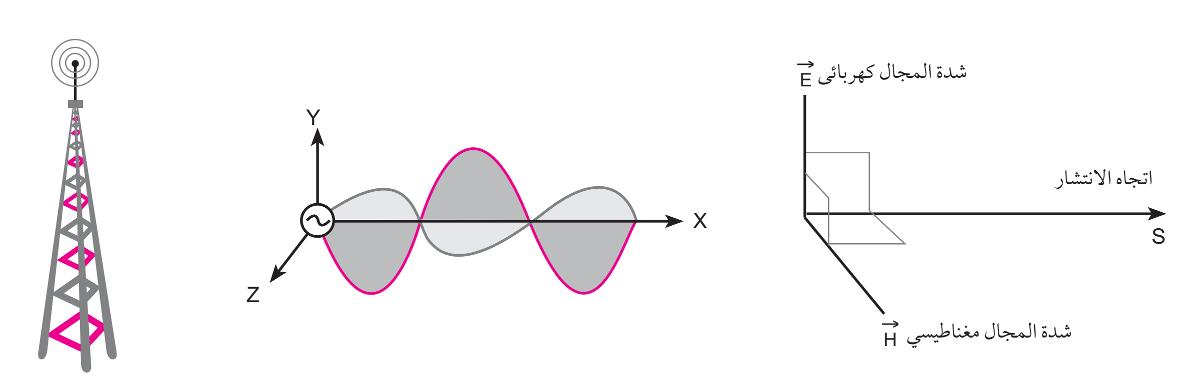
- تميّز أهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية، وطرق انتشارها، واستخداماتها العملية.
- تتعرف على طبقات الغلاف الجوي المحيط بالأرض.
- تحدد نطاق الترددات الراديوية في الطيف الكهرومغناطيسي، وأقسامه، واستخداماته العملية.
- توضّح مفهوم الاستقطاب.
- تشرح أهم خصائص الهوائيات.
- تتعرف أهم أنواع الهوائيات، وخصائصها، واستخداماتها العملية.

يحتاج أي نظام اتصال لاسلكي إلى هوائي إرسال، لبث الموجات الكهرومغناطيسية التي تمثل المعلومات المرسلة من المصدر، كما يحتاج أيضاً إلى هوائي استقبال، لتحويل الموجات الكهرومغناطيسية الملتقطة إلى إشارات كهربائية مناسبة للكشف في جهة الاستقبال.

قبل البدء بدراسة الهوائيات وخصائصها وأنواعها، لا بد من دراسة خصائص الموجة الكهرومغناطيسية وطرق انتشارها، بالإضافة إلى التعرف على خصائص الغلاف الجوي كوسط انتشار للموجات الكهرومغناطيسية.

## خصائص الموجة الكهرومغناطيسية The Electromagnetic Wave

تتكون الموجة الكهرومغناطيسية من مجال كهربائي $\vec{E}$ ومجال مغناطيسي $\vec{H}$ متعامدين بعضهما مع بعض، ومع اتجاه انتشارهما. كما هو موضح في الشكل (1).




شكل (١): موجة كهرومغناطيسية

ويمكن تلخيص أهم خصائص الموجة الكهرومغناطيسية بما يأتي:

١. تنتشر في الفضاء بسرعة تقترب من سرعة الضوء البالغة $3 \times 10^8$ متر/ ثانية، وتقل سرعتها عند انتقالها في الأوساط الأخرى، حسب نوع وطبيعة الوسط الناقل.

٢. لها طول موجي (λ) يرتبط مباشرةً بتردد الموجة، حيث:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ: طول الموجة بالمتر.

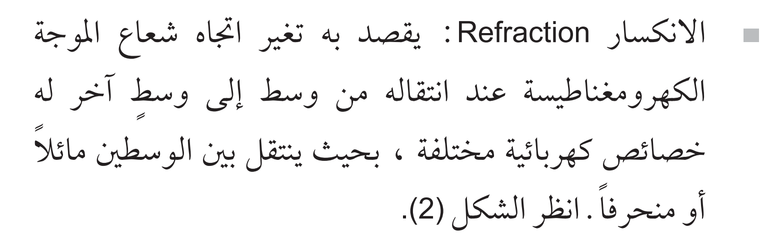
f: تردد الموجة بالهيرتز.

C: سرعة الضوء البالغة $3 \times 10^8$ متر/ ثانية.

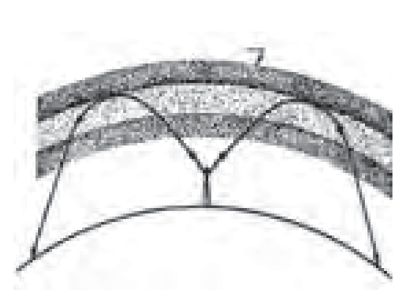
ومن المفيد معرفة أن طول الموجة الكهرومغناطيسية ضروري لتصميم الهوائي، ومعرفة أبعاده، كما سيتضح لاحقاً.

٣ . تمتد ترددات الموجات الكهرومغناطيسية على نطاقٍ واسعٍ ، فيما يعرف بالطيف الكهرومغناطيسي (The Electromagnetic Spectrum) .

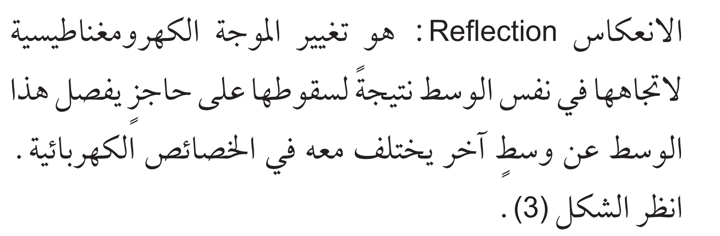
٤ . عند انتقال الموجات الكهرومغناطيسية وانتشارها عبر عدد من الأوساط المختلفة فإنها قد تتعرض إلى الإنكسار أو الإنعكاس أو الحيود ، وقد تعاني أيضاً من التداخل أو الخفوت والتي يمكن تعريفها بالآتي :



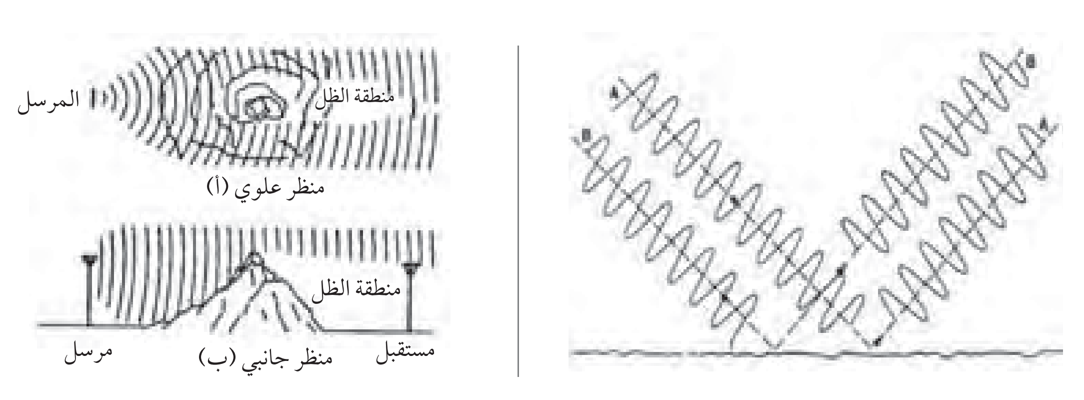
- الانكسار Refraction : يقصد به تغير اتجاه شعاع الموجة الكهرومغناطيسة عند انتقاله من وسط إلى وسطٍ آخر له خصائص كهربائية مختلفة ، بحيث ينتقل بين الوسطين مائلاً أو منحرفاً . انظر الشكل (2).



الشكل (٢) : موجة كهرومغناطيسية منكسرة



- الانعكاس Reflection : هو تغيير الموجة الكهرومغناطيسية لاتجاهها في نفس الوسط نتيجةً لسقوطها على حاجزٍ يفصل هذا الوسط عن وسطٍ آخر يختلف معه في الخصائص الكهربائية . انظر الشكل (3) .
- الحيود Diffraction : هو مقدرة الموجة الكهرومغناطيسية على الانحراف عن الزوايا الحادة ، والانحناء عن العوائق التي تواجهها . انظر الشكل (4) .
- التداخل Interference : هو اختلاط موجتين أو أكثر عند تواجدها في نفس المكان والزمان وعندما تكون ترددات هذه الموجات متقاربة .




شكل (٣) : الانعكاس

شكل (٤) : حيود موجة كهرومغناطيسية عن أحد المواقع

- الخفوت Fading : هو التغيّر في شدة الموجة الكهرومغناطيسية ، بحيث تضعف عند انتقالها في الفضاء من المرسل إلى المستقبل . ويحدث ذلك نتيجة لعوامل متعددة كالانعكاس عن سطح الأرض أو الانكسار في طبقات الجو العليا ، وبفعل تأثير العوامل الجوية أيضاً .

**مثـــال (٢):** موجة كهرومغناطيسية ذات طول موجي 100 ملم احسب ترددها

**الحـــل:** $\lambda = \frac{c}{f}$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{8}}{100 \times 10^{-3}} = 3GHz$$

## طرق انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

يعتمد انتشار الموجة الكهرومغناطيسية بشكلٍ أساسي على تردد هذه الموجة بالإضافة إلى طبيعة وسط الانتشار، ويمكن تقسيم الأمواج بحسب طرق انتشارها إلى الموجات الأرضية السطحية، والموجات السماوية، والموجات الفضائية.

### الموجات الأرضية السطحية (Ground Surface Waves)

وقد سميت بهذا الاسم؛ لأنها تنحني وتتبع سطح الأرض عند انتشارها. يتراوح مجال الترددات المستخدم عند الاتصال بين نقطتين باستخدام الموجات الأرضية بين 150 كيلوهيرتز إلى 500 كيلوهيرتز.

هناك مزايا لاستخدام هذا النوع من الموجات في عملية الاتصال، تتمثل في:

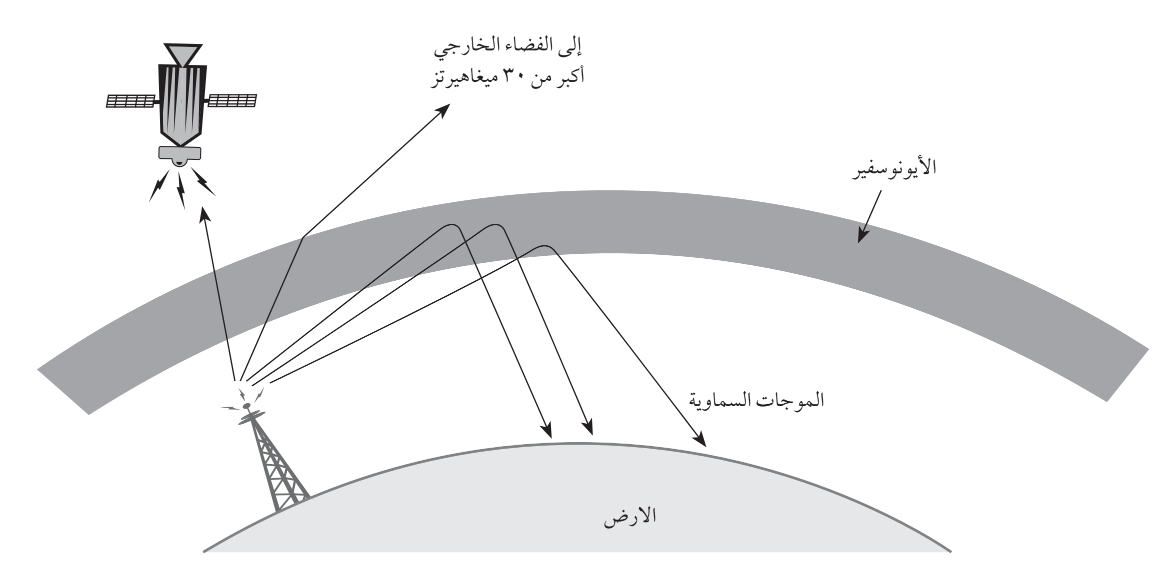
- الوصول إلى مسافاتٍ بعيدة، تصل إلى 4000 كيلومتر؛ لذا فهي تستخدم في الاتصالات البحرية.
- الوثوقية العالية؛ إذ يمتاز انتشار هذه الموجات بعدم تأثره بتعاقب الليل والنهار، أو فصول السنة، كما أنه لا يتأثر بالأحوال الجوية.

أما أهم العيوب فهي:

- محطات إرسال ذات قدرة كهربائية عالية؛ مما يجعلها غير اقتصادية.
- محدودية النطاق الترددي المتاح للاستخدام (حوالي 350 كيلوهيرتز).
- الهوائي المستخدم لإشعاع الأمواج الأرضية ذو أبعادٍ كبيرة، نظراً لانخفاض التردد.

### الموجات السماوية (Sky Waves)

وهي التي يتم بثها نحو السماء لتعود ثانيةً إلى الأرض، بفعل انعكاسها داخل طبقة الأيونوسفير (التي سيتم شرحها لاحقاً)، وتعتمد المسافة التي تقطعها هذه الموجات داخل طبقة الأيونوسفير على ترددها حيث تزداد بازدياد التردد. أما إذا زاد ترددها عن قيمةٍ معينة (حوالي 30 ميجاهيرتز) فستنطلق إلى الفضاء الخارجي ولا تنعكس إلى الأرض، كما هو مبين في الشكل (5).




شكل (٥): انعكاس الموجات السماوية عن طبقة الأيونوسفير

تستخدم الموجات السماوية بكثرة في عمليات البث الإذاعي، حيث يمكن تحقيق انتشار يصل إلى 4000 كيلومتر في الظروف الجيدة، وأهم مزايا استخدام الموجات السماوية في الاتصال :

- لا تحتاج محطة الإرسال إلى قدرة كهربائية عالية .
- لاتتأثر بسطح الأرض، وقادرة على توفير اتصالاتٍ ضمن نطاق الترددات العالية (3 – 30 ميجاهيرتز) لعددٍ كبير من المحطات الإذاعية .
- يمكن تحقيق الاتصال لمسافاتٍ بعيدة .

أما العيوب فتتمثل في :

- عدم استقرار نظام الإرسال لاعتماده على طبقة الأيونوسفير، والتي تتغير باستمرار خلال اليوم وخلال فصول السنة، بالإضافة لتأثرها بالظروف الجوية .
- لايمكن استخدام هذا النمط من الإرسال في أنظمة الاتصال التي تتطلب عرض نطاقٍ ترددي كبير .

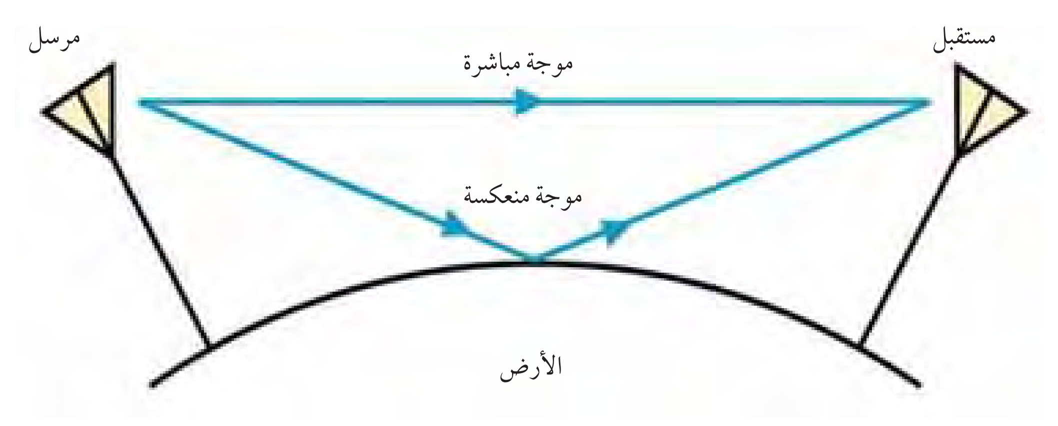
### الموجات الفضائية (Space waves)

إن تردد هذه الموجات يكون عادةً أعلى من 30 ميجاهيرتز؛ لذا فهي تميل إلى الانتشار بخطوط مستقيمة لتحقيق الاتصال بين أنظمة خط الرؤية على سطح الأرض، أو في الاتصالات الفضائية عبر الأقمار الصناعية .

تنقسم الموجات الفضائية إلى قسمين :

أ . **الموجات المباشرة**: وهي التي تصل مباشرةً من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال، وتشكل غالبيةالموجات الفضائية المرسلة .

**ب. الموجات المنعكسة من الأرض:** وهي التي تصل إلى هوائي الاستقبال بعد انعكاسها عن سطح الأرض، وتشكل نسبة قليلة من الموجات الفضائية المرسلة، كما هو موضح في الشكل (6).




شكل (٦): انتشار الموجة الفضائية

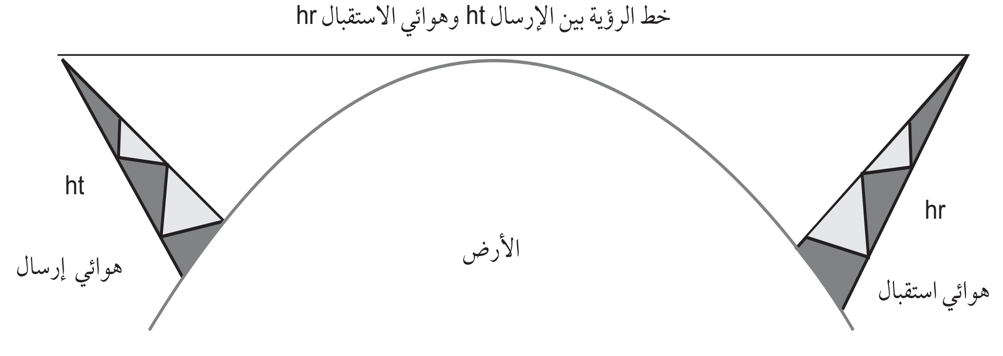
ومن الجدير بالذكر، أنه لاستخدام الموجات الفضائية في عمليات الاتصال فإنه يشترط وجود خط رؤية (نظر) (Line – Of – Sight) بين هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال، ويمكن حساب أكبر مسافة ممكنة لتحقيق خط الرؤية من العلاقة التالية:

$$R\ (km) = 4\ (\sqrt{ht\ (m)} + \sqrt{hr\ (m)})$$

R: المسافة بين هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال بالكيلو متر.

ht: ارتفاع هوائي الإرسال عن سطح الأرض بالمتر.

hr: ارتفاع هوائي الاستقبال عن سطح الأرض بالمتر.




شكل (٧): خط الرؤية بين هوائي خط الإرسال والاستقبال

**مثـــال (٢):** احسب أكبر مسافة ممكنة بين هوائيي إرسال واستقبال مع المحافظة على وجود خط رؤية بينهما، إذا علمت أنّ ارتفاع كلٍّ منهما يساوي 36 متراً.

**الحـــــل:** $R (km) = 4 (\sqrt{hr (m)} + \sqrt{ht (m)})$

وبالتعويض في المعادلة أعلاه نحصل على :

$$R (km) = 4 (\sqrt{36} + \sqrt{36}) = 4 (6 + 6) = 48 Km$$

---

يكثر استخدام الموجات الفضائية في إتصالات الميكروويف وفي البث التلفازي، بالإضافة إلى الاتصالات عبر الأقمار الصناعية .

مزايا استخدام هذه الموجات في عمليات الاتصال هي :

- درجة الوثوقية عالية .
- النطاق الترددي المتاح لنقل المعلومات كبير .

أما العيوب فهي :

- كثرة استخدام محطات التقوية عند الإرسال لمسافات بعيدة؛ مما يزيد من التكلفة الاقتصادية .
- تتأثر الموجات المباشرة أكثر من غيرها بالعوامل الجوية كالمطر والثلج وغيرها، حيث تعمل على إضعافها وتشتيتها .

## طبقات الغلاف الجوي المحيط بالأرض

### أهمية الغلاف الجوي

الغلاف الجوي الأرضي هو عبارة عن طبقة رقيقة مركبة من الغازات كغاز الأكسجين والهيدروجين والنيتروجين والهيليوم وبعض الغازات الأخرى وبنسب متفاوتة، كما يظهر في الشكل (8) .

١٪

٢١٪ اكسجين

٧٨٪ نيتروجين

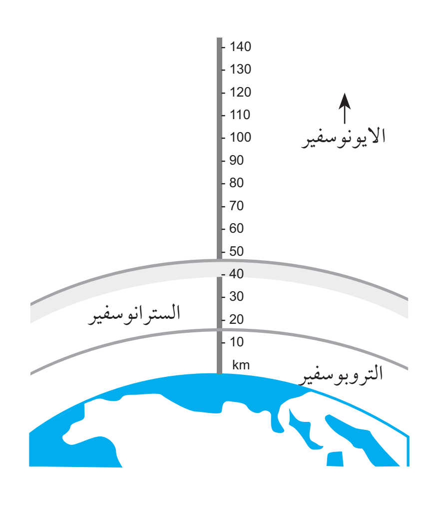
شكل (٨): مكونات الغلاف الجوي المحيط بالأرض

يحيط الغلاف الجوي بالأرض ويحميها، ويعدّ وجوده عاملاً أساسيا ومهماً جداً في نشأة الحياة على الأرض .

إن الغلاف الجوي هو الوسط الذي تتحرك من خلاله الموجات الكهرومغناطيسية عند انتقالها من هوائي الإرسال إلى هوائي الاستقبال، ولفهم كيفية انتقال هذه الموجات، والتأثيرات التي تتعرض لها خلال انتقالها من مكانٍ لآخر لابد من تقديم شرحٍ مبسط للغلاف الجوي المحيط بالأرض .

يقسم الغلاف الجوي كما يظهر من الشكل (9) إلى ثلاثة أقسام رئيسة هي طبقة التروبوسفير أو الطبقة المناخية، وطبقة الستراتوسفير وطبقة الأيونوسفير .

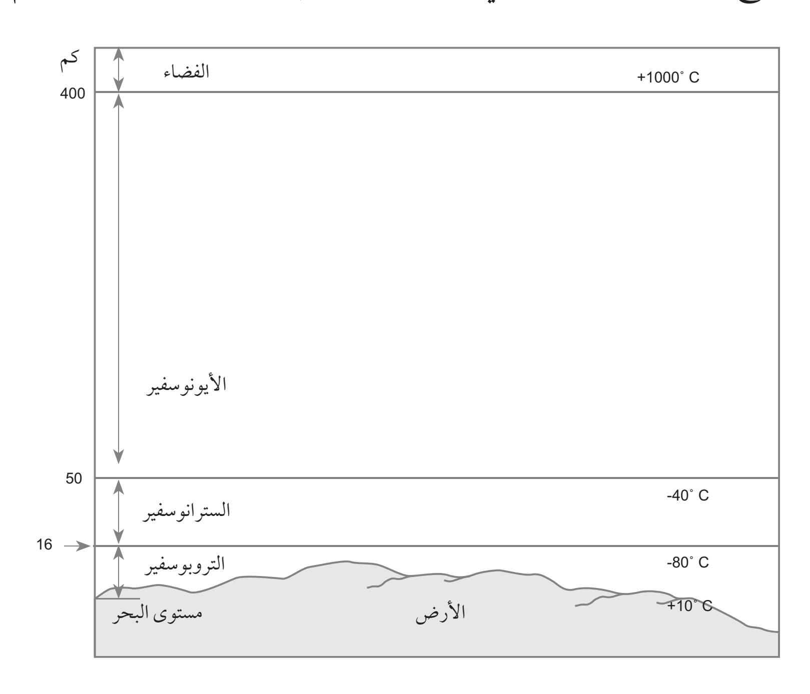
## طبقة التروبوسفير أو الطبقة المناخية Troposphere




الشكل (٩) : الطبقات الرئيسية للغلاف الجوي

يمثل التروبوسفير الطبقة السفلى من الغلاف الجوي، ويمتد من مستوى سطح البحر إلى ارتفاع (16km) تقريباً. تعدّ طبقة التروبوسفير الطبقة الفعالة في تغيرات المناخ، ويطلق عليها الطبقة المناخية لحدوث جميع الظواهر الجوية في هذه الطبقة كالضباب والغيوم والأمطار والعواصف الرعدية والعواصف الرملية، وكذلك حدوث تقلبات المناخ و الطقس وما يتبع ذلك من رطوبة وحرارة وضغط. تحتوي طبقة التروبوسفير أيضاً على معظم بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي، وتتناقص درجات الحرارة في هذه الطبقة كلما ارتفعنا للأعلى كما يظهر في الشكل (10).

جميع العوامل السابقة يمكن أن تؤثر في كفاءة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية وانتقالها، وإن التشويش الناتج عن الظواهر الجوية في هذه الطبقة يؤدي إلى التشويش على معظم أنظمة الاتصال.




الشكل (١٠) : العلاقة بين الحرارة والارتفاع عن سطح البحر في طبقات الغلاف الجوي

## طبقة الستراتوسفير Stratosphere

تقع فوق طبقة التروبوسفير، وتمتد إلى ارتفاع 50 كم تقريباً من سطح الأرض. تتميز بالاستقرار التام لثبوت درجة الحرارة والضغط الجوي فيها، كما ينعدم بخار الماء ، لهذه الأسباب، تعدّ هذه الطبقة ذات تأثيرٍ ضعيف على الأمواج الكهرومغناطيسية.

### طبقة الأيونوسفير Ionosphere

تمتد هذه الطبقة من ارتفاع 50 كم ولغاية 400 كم تقريباً ، وقد سميت بهذا الاسم ؛ لأنها المنطقة التي يحدث فيها التأين للغازات المحيطة بالأرض ، بسبب امتصاص هذه الغازات لكميات كبيرة من الطاقة التي تستمدها من الأشعة الشمسية فوق البنفسجية .

تتألف المنطقة المتأينة من أربع طبقات رئيسة ، هي :

١ . **طبقة D** : على ارتفاع 50 – 90 كم تقريباً من سطح الأرض ، لا تظهر هذه الطبقة إلاّ في النهارحيث تبدأ بالتلاشي والزوال مع ابتداء ظلمة الليل ، ومن أهم خصائصها :

- تعكس الموجات ذات التردد المنخفض جداً (VLF)، مما يوفر إمكانية الاتصال باستخدام هوائيات بأبعاد كبيرة وبقدرة إرسال عالية .
- تمتص موجات التردد المنخفض (LF) والمتوسط (MF) .
- تعكس الموجات التي يقل ترددها عن 3 ميجاهيرتز .
- تؤثر على الموجات التي يزيد ترددها عن 3 ميجاهيرتز ، ويقل هذا التأثير بازدياد التردد .

٢ . **طبقة E** : تنشأ من تأين جزيئات الأكسجين $O_2$ وتقع على ارتفاع 100 كم من سطح الأرض بسمك 25كم تقريباً، تختفي (تقريباً) خلال الليل ، ومن أهم خصائصها :

- تعكس موجات لغاية 20 ميجاهيرتز ، وبالتالي تسمح باتصالات المدى المتوسط حتى 1900 كم تقريباً .
- تؤثر على الموجات التي يزيد ترددها عن 20 ميجاهيرتز ، ويقل هذا التأثير بازدياد التردد .

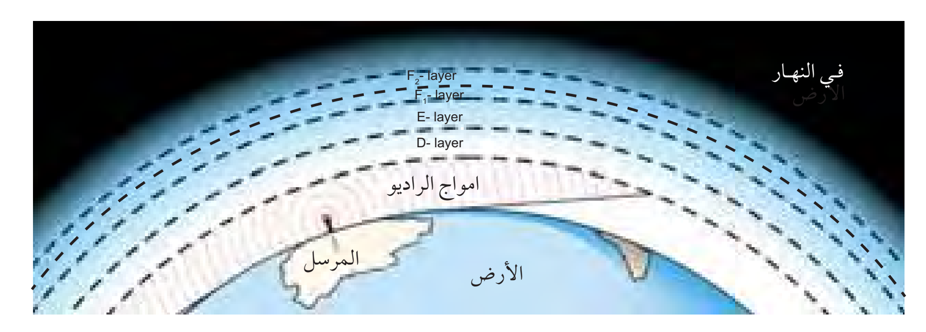
٣ . **طبقة F1** : تنشأ من تأين جزيئات النيتروجين ، وتقع على ارتفاع 200 كم بسمك 20 كم تقريباً، ومن أهم خصائصها :

- تعمل على امتصاص بعض موجات التردد العالي HF وتوهين بعضها الآخر ، وعادةً فإن الترددات التي تخترق الطبقة E تمر أيضاً من الطبقة F1 ، ويتم عكسها بوساطة الطبقة F2.

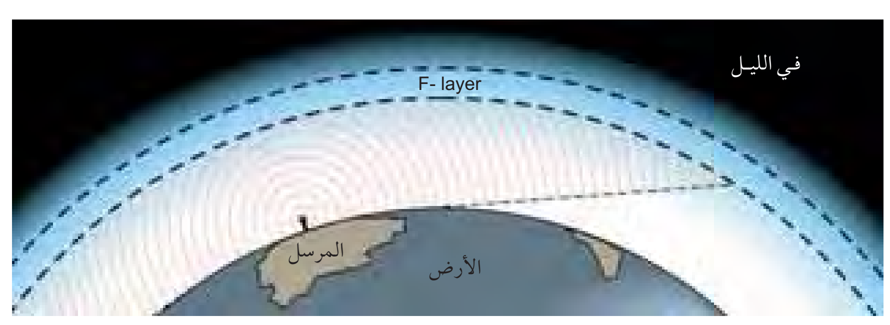
٤ . **طبقة F2** : تنشأ من تأين العديد من ذرات الغازات كالأكسجين والهيليوم والهيدروجين . تقع طبقة F2 على ارتفاع 400 كم تقريباً من سطح الأرض ، وهي الطبقة الأكثر كثافةً بالأيونات والأكثر فعالية ، لذا فهي الطبقة الأكثر أهميةً في الاتصالات بعيدة المدى ، خاصةً في مجال التردد العالي HF (حتى 30 ميجاهيرتز) حيث تعمل على انتشار الموجات العالية التردد إلىمسافاتٍ بعيدة .

ومما يجدر ذكره أن طبقتي F1 و F2 تندمجان ليلاً لتشكلا طبقةً واحدة تدعى F ، وبالتالي يكون انعكاس الموجات واستقبالها ليلاً أفضل منه نهاراً ، ويتم بصورةٍ أفضل أيضاً .

الشكل (11) يبين طبقات الأيونوسفير خلال النهار والليل .




▶ الشكل (١١-أ): طبقات الجو المتأينة خلال النهار




▶ الشكل (١١-ب): طبقات الجو المتأينة خلال الليل

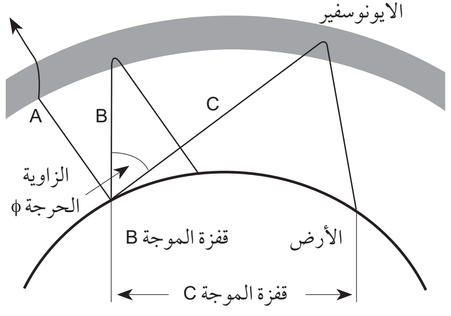
## العوامل المؤثرة في انعكاس الموجات عن طبقات الأيونوسفير

هل تؤثر زاوية إشعاع الموجات الكهرومغناطيسية إلى طبقة الأيونوسفيرعلى المسافة التي يمكن أن يصلها البث؟ وكيف يؤثر تردد الإشارة المرسلة في انعكاسها عن طبقة الأيونوسفير ؟ وهل يوجد تأثير لكثافة الأيونوسفير واستقراريته في عكسه للأمواج؟

### تأثيرزاوية الإشعاع Radiation Angle

تعرّف زاوية الإشعاع بأنها تلك الزاوية المحصورة بين خط الأفق وهوائي الإرسال.

وتكون العلاقة بين زاوية الإشعاع ومسافة القفزة للموجة المرسلة علاقة عكسية، فبازدياد هذه الزاوية تقل مسافة القفزة للموجة، وتقترب من محطة الإرسال إلى أن تصل إلى الزاوية الحرجة (Critical Angle) والتي يمكن تعريفها (عند تردد معيّن) بأنها: أكبر زاوية ترتد عندها الموجات الساقطة على الطبقة المتأينة، وبزيادة زاوية الإشعاع عن قيمة الزاوية الحرجة لا تستطيع الأمواج الكهرومغناطيسية أن تنحني ضمن الطبقة المتأينة، بل تمر مخترقةً إلى الفضاء الخارجي.




الشكل (١٢): سلوك الموجات

يظهر في الشكل (12) ثلاث موجات راديوية لها نفس التردد، وتدخل طبقة الأيونوسفير بزوايا إشعاع مختلفة:

- الموجة A تخترق طبقة الأيونوسفير إلى الفضاء الخارجي، ولا تعود إلى الأرض، لأن زاوية الإشعاع لها أكبر من الزاوية الحرجة (90 درجة تقريباً).

- الموجة B تم إرسالها بزاوية إشعاع تساوي الزاوية الحرجة، لذا فإنها تنحني وتعود إلى الأرض، وتكون مسافة القفزة أصغر مايمكن.
- الموجة C تنحني وتعود إلى الأرض عند مسافةٍ أبعد من التي وصلتها الموجة B، والسبب يعود إلى أن زاوية الإشعاع لها أصغر من الزاوية الحرجة ( زاوية إشعاع الموجة B).

**تأثير التردد Frequency**

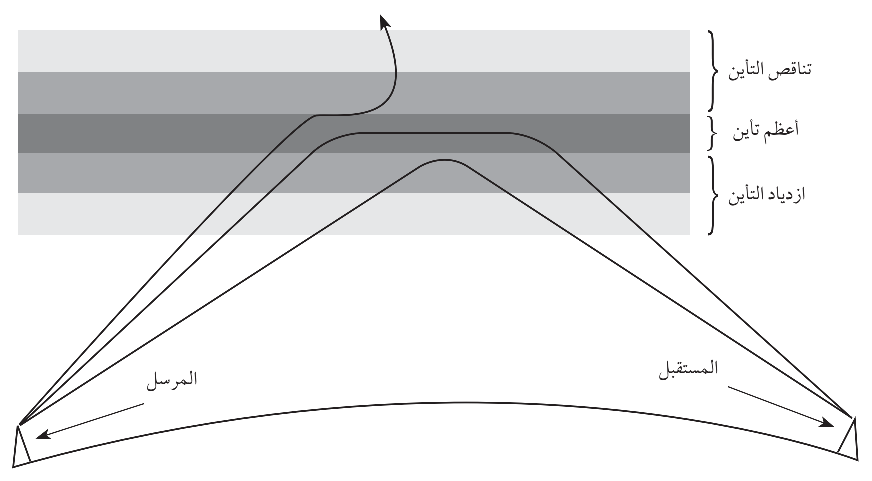
يؤثر تردد الإشارة المرسلة على انعكاس الإشارة وعمق اختراقها لطبقات الأيونوسفير وبالتالي في المسافة التي يمكن أن يصلها البث، وتزداد هذه المسافة بازدياد التردد عند زاوية إشعاع معينة، ويُعرّف التردد الحرج Critical Frequency بأنه:

التردد الذي إن زاد تردد الإشارة المرسلة عنه فإنها لاتعود إلى الأرض، وإنما تخترق طبقات الأيونوسفير إلى الفضاء الخارجي؛ لذا فإلاتصالات عبر الأقمار الصناعية تستخدم ترددات أعلى من التردد الحرج للإرسال.

**تأثير كثافة الطبقة Layer Density**

يظهر الشكل (13) المبين أدناه أن كل طبقة متأينة تتكون من ثلاث مناطق، هي:

- منطقة ازدياد التأين: وهي ذات كثافة متوسطة وغير منتظمة، وعندما تدخل الموجة الراديوية إلى هذه المنطقة فإنها تنحني عائدةً إلى الأرض.
- منطقة التأين الأعظم: وهي المنطقة الوسطى ذات الكثافة العالية، وفيها يكون الانكسار أكثر بطأً لأن كثافة التأين منتظمة.
- منطقة تناقص التأين: عندما تدخل الموجة إلى هذه المنطقة فإنها تنثني بعيداً عن الأرض إلى الفضاء الخارجي.



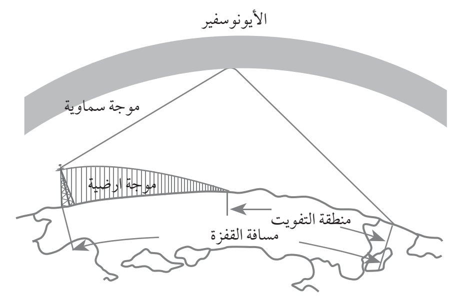

الشكل (١٣): تأثيرات كثافة الأيونوسفير على انعكاس الموجات الراديوية

## مسافة القفزة ومنطقة التفويت Skip Distance and Skip Zone

كما تعلم، فإن الموجات الكهرومغناطيسية المرسلة (عند ترددات معينة) يمكن أن تنتشر على شكل موجات أرضية وموجات سماوية، كما يتضح من الشكل (14).

ويمكن تعريف مسافة القفزة بأنها: المسافة من المرسل إلى أول نقطة تعود إليها الموجة السماوية المرتدة إلى الأرض.

وتعرّف منطقة التفويت بأنها المنطقة التي لا يشملها استقبال البث، وتبدأ من النقطة التي يضعف عندها استقبال الموجات الأرضية إلى النقطة التي تعود إليها الموجة السماوية المرتدة إلى الأرض.




الشكل (١٤): العلاقة بين مسافة القفزة ومنطقة التفويت والموجات الأرضية

**نشـــاط (١):**

ابحث في تأثير طبقة الأوزون على انتشار الموجات ضمن طبقات الغلاف الجوي.

## نطاق الترددات الراديوية وخصائصه

درست سابقاً الطيف الكهرومغناطيسي وتعرّفت على أجزاءٍ منه، أما الآن فسيتم شرح قسم آخر له أهمية خاصة في أنظمة الاتصالات، وهو قسم (نطاق) الترددات الراديوية، والذي يمتد من (3kHz) ولغاية (300GHz) حيث يعدّ هذا النطاق الأكثر استخداماً في أنظمة الاتصالات، وسيظل كذلك لسنواتٍ عديدة قادمة، على الرغم من الأبحاث والدراسات الحديثة في مجال استخدام حزم من الليزر لنقل المعلومات، والتي أظهرت قدرة حزمة واحدة من الليزر على نقل الملايين من القنوات المستقلةً.

الجدول رقم (1) يبين الحزم الثماني لطيف الترددات الراديوية، مع توضيحٍ لأنماط انتشارها في الغلاف الجوي للأرض، بالإضافة إلى أهم تطبيقاتها العملية.

**نشـــاط (٢):**

ابحث عن الجدول الذي يعرض التسميات الحديثة (الحالية) للحزم الراديوية.

| الحزمة الترددية | الاختصار | التردد | نمط الانتشار | التطبيق العملي ( الاستخدام ) |
|---|---|---|---|---|
| الترددات المنخفضة جداً<br>Very Low Frequency. | VLF | 3-30 كيلوهيرتز . | تنتشر كموجات أرضية | • في الاتصالات البحرية لمسافات بعيدة .<br>• للاتصال بالغواصات في الأعماق الضحلة تحت سطح البحر . |
| الترددات المنخفضة<br>Low Frequency. | LF | 30-300 كيلوهيرتز . | تنتشر كموجات أرضية | • لاتصالات المسافات المتوسطة من 1000 إلى 5000 كم خاصةً مع الغواصات والسفن في الملاحة البحرية .<br>• يمكن للطائرات استخدام هذه الترددات (LF ) بكفاءة، خاصةً وأنها تخترق الغابات والمياه . |
| الترددات المتوسطة<br>Medium Frequency. | MF | 300-3000 كيلوهيرتز . | يمكن أن تنتشر كموجات أرضية أو سماوية أوفضائية ( مباشرة) | • لاتصالات المسافات المتوسطة ، وتختلف المسافة بحسب نوع الموجة المستخدم في البث .<br>• النطاق الترددي ( 526 – 1606 ) كيلوهيرتز مستخدم في البث الإذاعي AM. |
| الترددات العالية<br>High Frequency. | HF | 3 – 30 ميجا هيرتز . | • كموجات أرضية ، تنتشر لمسافة من (50 – 500 ) كم تقريباً .<br>• كموجات سماوية ، تنتشر لمسافات طويلة تبعاً لظروف الإرسال . | • للإتصال عبر مسافات بعيدة .<br>• في البث الإذاعي بالموجة القصيرة SW.<br>• راديو الهواة Amateur Radio. |
| الترددات العالية جداً<br>Very High Frequency. | VHF | 30–300 ميجا هيرتز . | تنتشر بشكل أساسي كموجات فضائية مباشرة ( اتصالات خط الرؤية LOS) . | • البث التلفازي لقنوات VHF.<br>• البث الإذاعي FM.<br>• لإتصالات المسافات القريبة ( 40 – 80 ) كم .<br>• في الإتصالات الملاحية ، وفي المجال الصناعي والأجهزة الطبية . |
| الترددات فوق العالية<br>Ultra High Frequency. | UHF | 300 - 3000 ميجاهيرتز . | موجات فضائية ( مباشرة ) . | • البث التلفازي لقنوات UHF<br>• اتصالات الميكروويف LOS Communication<br>• الكثير من أنظمة UHF قابلة للنقل في الطائرات والسفن والعربات المتنقلة، وتشاهد يومياً في سيارات الإسعاف والمطافىء والشرطة |
| الترددات فائقة العلو<br>Super High Frequency. | SHF | 3–30 جيجاهيرتز . | موجات فضائية ( حزم الرادار ) . | • الإتصالات عبر الأقمار الصناعية والميكروويف .<br>• الرادار وتطبيقات عسكرية اخرى . |
| الترددات بالغة العلو<br>Extremly High Frequency. | EHF | 30–300 جيجاهيرتز . | موجات فضائية (حزم الرادار) . | • الاتصالات عبر الأقمار الصناعية والميكرويف والرادار .<br>• الساعات الذرية Atomic Clocks المستخدمة في التزامن بين الشبكات .<br>• الجزء الأكبر من هذا النطاق مخصص للاستخدامات المستقبلية . |

## استقطاب الموجة الكهرومغناطيسية (Polarization)

يعرّف الاستقطاب بأنه اتجاه المجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية، ولكن، ماذا نستفيد من معرفة استقطاب الموجة ؟

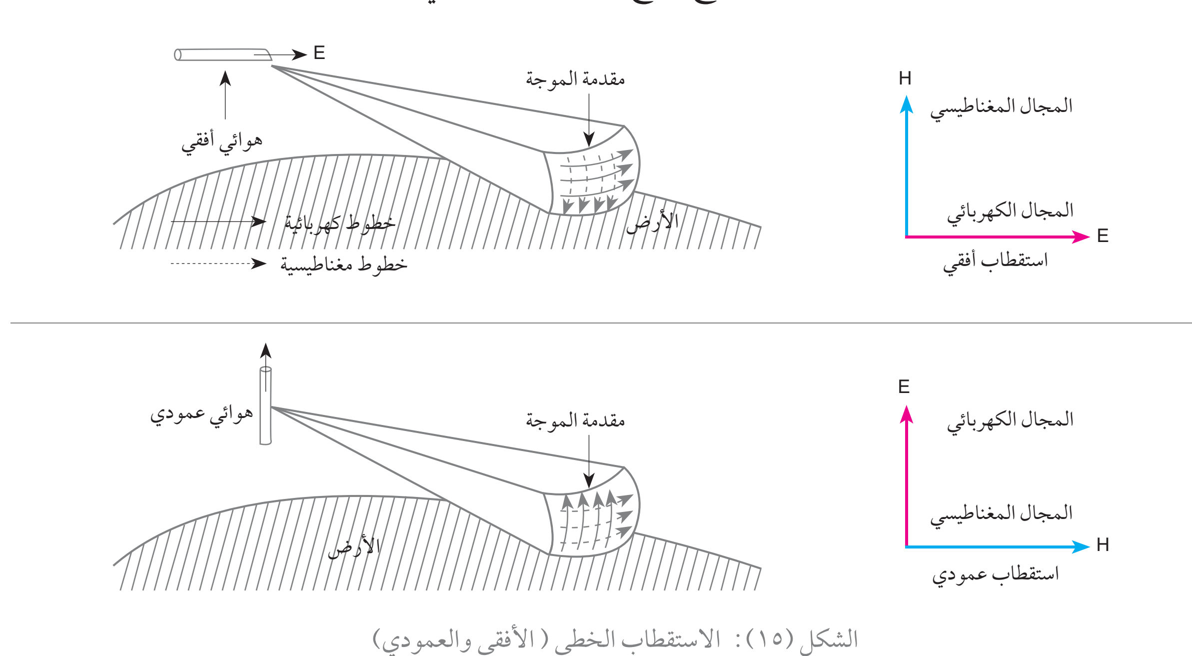
إن أفضل استقبالٍ للموجة المرسلة يحدث عندما يكون استقطاب هوائي الاستقبال مماثلاً لاستقطاب هوائي الإرسال.

فمثلاً، في مجال الاستقبال التلفازي يركب هوائي الاستقبال أفقياً أو عمودياً بحسب استقطاب الإشارة المراد استقبالها. ولوقتٍ قريب، فإنَّ أغلب الأنظمة العالمية كانت تستخدم الاستقطاب الأفقي للبث التلفزيوني؛ نظراً للمزايا التي يتمتع بها إلى أن سمح أخيراً باستخدام الاستقطاب العمودي.

وهناك ثلاثة أنواعٍ رئيسة من الاستقطاب، هي: الاستقطاب الخطي والاستقطاب الدائري والاستقطاب البيضاوي.

١. **الاستقطاب الخطي**: وفيه يشكل المجال الكهربائي خطاً أثناء انتشار الموجة، وهناك حالتان من الاستقطاب الخطي، هما:

- الاستقطاب الأفقي: ونحصل عليه عندما يكون الهوائي (المجال الكهربائي) موازياً لسطح الأرض، ويمتاز بأنه أقل تأثراً بالتداخل والتشويش، وأكثر مقاومةً لعوامل التوهين المختلفة.
- الاستقطاب العمودي: ونحصل عليه عندما يكون الهوائي (المجال الكهربائي) عمودياً على سطح الأرض. الشكل المبين أدناه يوضح أنواع الاستقطاب الخطي.

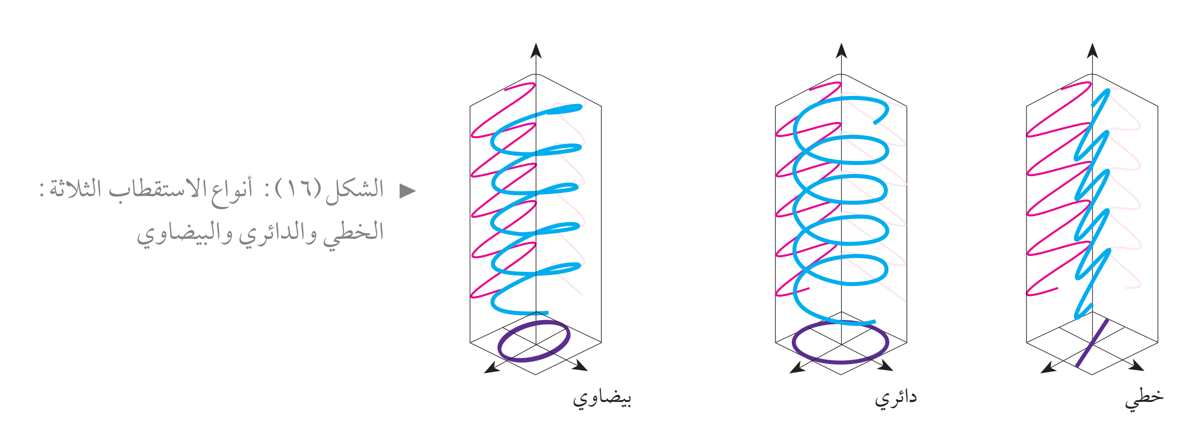



الشكل (١٥): الاستقطاب الخطي (الأفقي والعمودي)

٢. **الاستقطاب الدائري**: وفيه يشكل المجال الكهربائي دائرة أثناء انتشار الموجة، ويتغير الاستقطاب بشكلٍ مستمرمع الزمن. يمكن الحصول على هذا النوع من الاستقطاب عندما يكون الهوائي ملفوفاً بشكلٍ دائري.

٣. **الاستقطاب البيضاوي**: وفيه يرسم المجال الكهربائي شكلاً بيضاوياً أثناء انتشار الموجة.

ويظهر الشكل (16) أنواع الاستقطاب الثلاثة.




◄ الشكل (١٦): أنواع الاستقطاب الثلاثة: الخطي والدائري والبيضاوي

## الهوائيات Antennas

يعدّ الهوائي من العناصر المهمة في نظام الاتصال اللاسلكي، فمهما بلغت دقة أجهزة الإرسال والاستقبال فإن للهوائي دوراً أساسياً لاغنى عنه.

يعرّف الهوائي بأنه أداة موصلة، تعمل على إشعاع أو التقاط الطاقة الكهرومغناطيسية، وبشكلٍ عام فإن منظومة الهوائيات تتكون من:

١. هوائي الإرسال: وهو الأداة التي تمكننا من إشعاع القدرة الكهربائية من جهاز الإرسال إلى الجو على شكل أمواجٍ كهرومغناطيسية.

٢. هوائي الاستقبال: وهو الأداة التي تمكننا من تحويل الأمواج الكهرومغناطيسية المنتشرة في الجو إلى قدرة كهربائية توجه إلى جهاز الاستقبال.

ومن المفيد معرفة أن مواصفات هوائي الإرسال تنطبق على هوائي الاستقبال أيضاً، حيث يمكن أن يستخدم الهوائي في عمليات الإرسال والاستقبال، كما هو الحال في كثيرٍ من هوائيات أنظمة الميكروويف وهوائيات أنظمة الاتصال الخليوية.

وقد يخطر في بالك أن تسأل عن الكيفية التي يتم بها إشعاع الموجات الكهرومغناطيسية من الهوائي، وبشكلٍ عام، يمكن القول: إن الإشعاع Radiation ينتج دائماً عن شحناتٍ متسارعة. وعملياً يعزى الإشعاع إلى الإلكترونات المتسارعة، وحتى يمكن زيادة الإشعاع من الهوائي فإنه يلزم استخدام طريقة واحدة أو أكثر من الآتية:

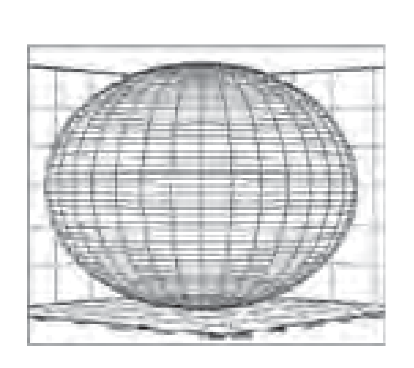
١. زيادة تردد التيار في الهوائي.

٢. زيادة الطاقة الكهربائية للهوائي.

٣. تصميم الهوائي بطول يساوي نصف طول الموجة المراد إشعاعها ($\frac{1}{2}\lambda$).

قبل التطرق إلى أهم خصائص الهوائيات ومواصفاتها العملية لا بد من تقديم شرح مبسط عن الهوائي القياسي (آيزوتروبك) Isotropic Antenna بالإضافة إلى وحدة الديسبل Decibel الشائعة الاستعمال:

يعرّف **هوائي الآيزوتروبك** بأنه: هوائي نظري يعمل بنفس الكفاءة في جميع الاتجاهات، ونموذج إشعاعه ذو شكلٍ كروي Spherical، كما في الشكل (17) وتكون شدة المجال Field Strength حول الهوائي متساوية.



الشكل (١٧): مخطط اشعاع هوائي الآيزوتروبك

عملياً: يستحيل بناء هوائي قياسي بهذه المواصفات، ولكنه يستخدم كمرجع نظري للمقارنة مع أنظمة الهوائيات، ولاسيّما عند حساب كسب (Gain) الهوائي بوحدة الديسبل (dB).

أما الديسبل Decibel فهو عبارة عن وحدة قياسية تستخدم لقياس الكسب Gain، ويعبررياضياًعن الديسبل بأنه: المقياس اللوغاريتمي للنسبة بين قيمتين، ويكتب اختصاراً (dB)، فمثلاً، يمكن التعبير عن كسب القدرة لمكبرٍ ما بوحدة الديسبل كالآتي:

$$dB = 10 \text{ Log } (\frac{P_{out}}{P_{in}})$$

## خصائص الهوائيات Antenna Characteristics

يوجد لكل هوائي عددٌ من الخصائص المهمة التي تميزه، وتحدد مجال عمله، وبشكلٍ عام، تشترك معظم الهوائيات في هذه الخصائص سواء أكانت هوائيات إرسال أو استقبال، وسنركز في هذا البند على شرح هوائي نصف الموجة، باعتباره الأساس لمعظم الهوائيات. ومن أهم هذه الخصائص ما يأتي:

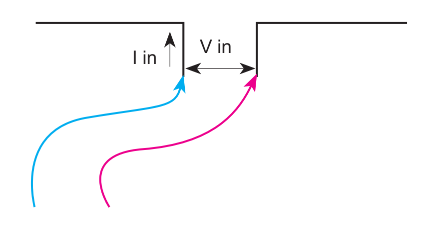
### الكسب Gain

يعرّف الكسب بأنه النسبة بين كثافة الطاقة المنبعثة من الهوائي في اتجاهٍ معين إلى كثافة الطاقة المنبعثة من الهوائي القياسي عند نفس النقطة بافتراض أن الطاقة الداخلة إليهما متساوية. ويقاس كسب الهوائي بالديسبل (dB).

### ممانعة مدخل الهوائي Input Impedance

يعرّف مدخل الهوائي بأنه طرفا توصيل الهوائي مع خط النقل. وتعرّف ممانعة مدخل الهوائي بأنها النسبة بين قيمة الجهد إلى قيمة التيار عند طرفي مدخل الهوائي. كما هو موضح في الشكل (18).

ويستفاد من معرفتها في تحديد الدارات اللازمة لتحقيق المواءمة Matching بين ممانعة الهوائي وممانعة خط النقل المتصل به عند اختلاف ممانعة الهوائي عن ممانعة خط النقل . يقصد بمواءمة الممانعة بين دارتين كهربائيتين : أن تكون ممانعة مخرج الدارة الأولى مساوية لممانعة مدخل الدارة الثانية ؛ ذلك لضمان انتقال أكبر قدر من الطاقة بينهما .




الشكل (١٨): ممانعة مدخل هوائي

## الاتجاهية Directivity

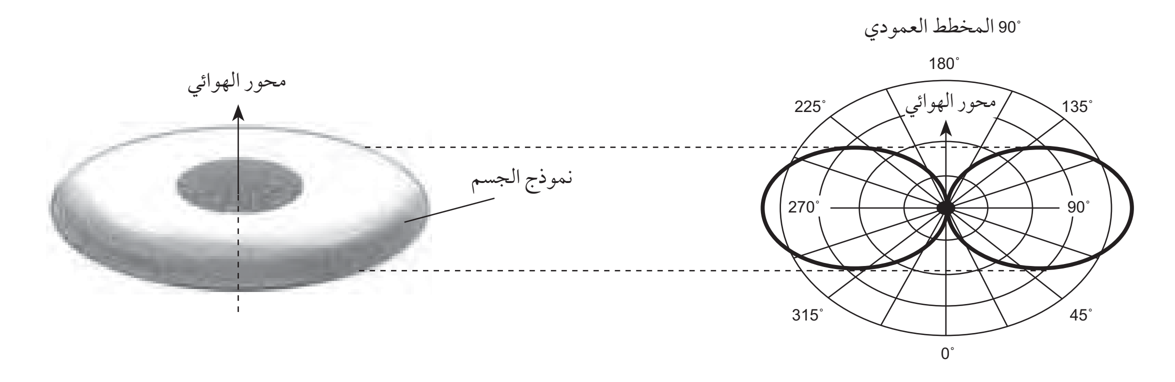
ويقصد بها قدرة الهوائي على تركيز الطاقة المنبعثة منه في اتجاه معين أكثر من بقية الاتجاهات، ويسمى الهوائي الذي يتمتع بهذه الخاصية بالهوائي الموجه للطاقة Directional Antenna، وهناك هوائيات غير موجهة للطاقة Omnidirection Antenna كما في الشكل (19) حيث تبث طاقتها بشكلٍ متساوٍ في جميع الاتجاهات، ومن أمثلة ذلك ما يستخدم في بعض محطات البث الإذاعي .



الشكل (١٩): هوائي غير موجه

## مخطط الإشعاع Radiation Pattern

عبارة عن مخطط يوضح كيفية توزيع الطاقة الصادرة من الهوائي إلى الجو المحيط كما في الشكل (٢٠)، وتكمن فائدة معرفة مخطط الإشعاع للهوائي في تحديد التطبيقات العملية لهذا الهوائي وفي كيفية توجيهه .




الشكل (٢٠): مخطط الإشعاع للهوائي ثنائي القطب

## كفاءة الهوائي Antenna Efficiency

تعرّف بأنها النسبة المئوية للقدرة المنبعثة من الهوائي $P_r$ إلى القدرة الداخلة إليه $P_{in}$

$$\eta = \left( \frac{P_r}{P_{in}} \right) \times 100\ \%$$

حيث : $\eta$ : كفاءة الهوائي

Pin : القدرة الداخلة للهوائي بالواط

Pr : القدرة المنبعثة من الهوائي بالواط

**مثـــال (٣):** جهاز إرسال راديوي ذو قدرة تساوي (100) كيلوواط في مخرجه، متصل بهوائي إرسال، احسب:

١ . ا لقدرة المنبعثة من هوائي الإرسال .

٢ . كفاءة الهوائي .

إذا علمت بأن القدرة الضائعة في الهوائي تساوي (5 ) كيلوواط .

**الحــــــل:** ١ . القدرة المنبعثة (من الهوائي) Pr = القدرة الداخلة ( للهوائي) Pin – القدرة الضائعة

= 100 - 5

= 95 كيلوواط

٢ . كفاءة الهوائي

$$\eta = \frac{P_r \text{ القدرة المنبعثة}}{P_{in} \text{ القدرة الداخلة}}$$

$$\eta = \frac{95}{100} = 95\ \%$$

---

### أبعاد الهوائي Antenna Dimension

يعتمد طول الهوائي على طول الموجة التي سوف يشعها أو يستقبلها وبالتالي على ترددها، بحيث يمكن القول انه كلما زاد تردد الإشارة التي يتعامل معها الهوائي قلّت أبعاد الهوائي، والعكس صحيح .

ولأجل بناء هوائي ذي كفاءة عالية في إشعاع الموجات الكهرومغناطيسية فإن طوله يجب أن يكون من مضاعفات أرباع أو أنصاف الطول الموجي (λ) للإشارة المراد إشعاعها .

عادةً، فإن أقل طول ممكن ( دون استخدام عناصر مساعدة ) هو ربع طول الموجة (0.25λ) ، ويعدّ هوائي نصف الموجة (0.5 λ) من الهوائيات الشائعة جداً، حيث إنه الأساس الذي نشأت منه وتطورت معظم الأنواع الأخرى من الهوائيات .

يدعى طول الموجة المستخدم في حساب أطوال عناصر الهوائي بالطول الفعال (λ́) وهو يساوي ( 0.95 λ) .

حيث : λ́ : طول الموجة داخل الهوائي (الطول الفعّال) .

λ : طول الموجة في الفراغ الحر .

ويعود سبب هذا الانخفاض في طول الموجة داخل الهوائي إلى أن سرعتها داخل الهوائي هي أقل بحوالي 5% من سرعتها في الفراغ الحر .

## أهم أنواع الهوائيات

يستخدم في أنظمة الاتصالا ت اللاسلكية أنواع متعددة من الهوائيات، بحيث يلائم كل هوائي التطبيق العملي المستهدف، وسنعرض أهم أنواع الهوائيات المستخدمة مع التركيز على معرفة :

١ . اسم الهوائي وشكله .

٢ . الكسب .

٣ . المدى الترددي له .

٤ . الاستقطاب .

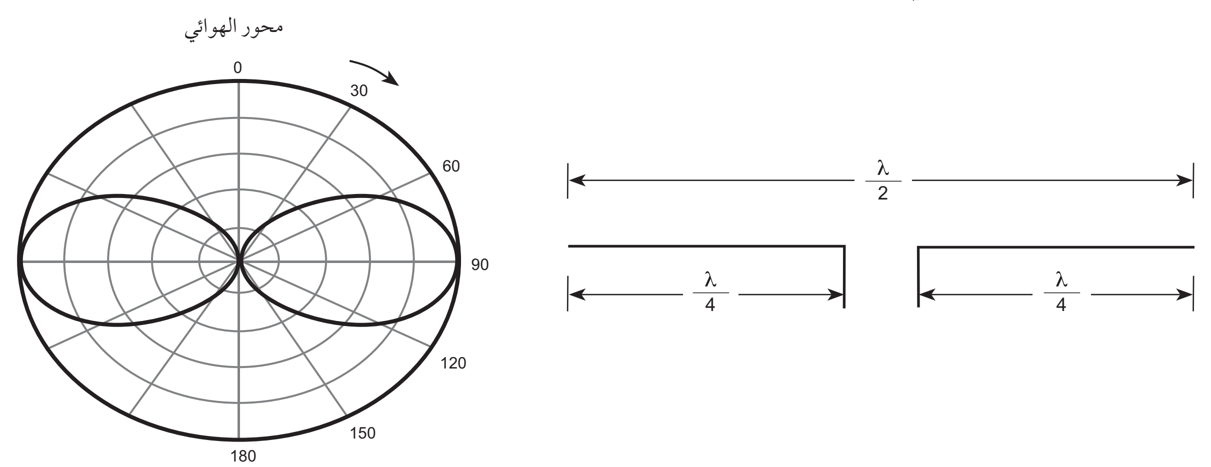
٥ . مخطط الإشعاع .

٦ . الاستخدام العملي .

### هوائي نصف الموجة ثنائي القطب Half Wave Dipole Antenna

في أبسط أشكاله، يتكون الهوائي ثنائي القطب من سلك معدني طوله نصف طول الموجة التي يشعها . كما هو مبين في الشكل (21)، ويعدّ هذا الهوائي الأساس الذي انطلقت منه معظم الهوائيات الأخرى .

- المدى الترددي : (3 – 10000) ميجاهيرتز .
- الكسب : حوالي2.5dB اعتماداً على ارتفاعه عن سطح الأرض .
- الاستقطاب : خطي Linear .
- مخطط الإشعاع : كما في الشكل (21)، ويظهر المخطط أنه هوائي لا اتجاهي .
- الاستخدام العملي : يعدّ الأساس الذي تبنى منه أنواع كثيرة من الهوائيات، وخاصةً في مجال الاستقبال التلفازي .




الشكل (٢١) : هوائي نصف الموجة ثنائي القطب ومخطط إشعاعه

## هوائي ثنائي القطب المطوي Folded Dipole Antenna

يبين الشكل (22) الهوائي المطوي، الذي يعد تطويراً لهوائي نصف الموجة ثنائي القطب، حيث تم وصل القطبين معاً بوصلةٍ طولها ($\frac{\lambda}{2}$)، مما يجعله أقوى ميكانيكياً.



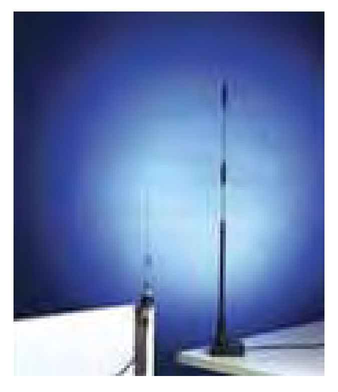

الشكل (٢٢): ثنائي القطب المطوي ومخطط إشعاعه

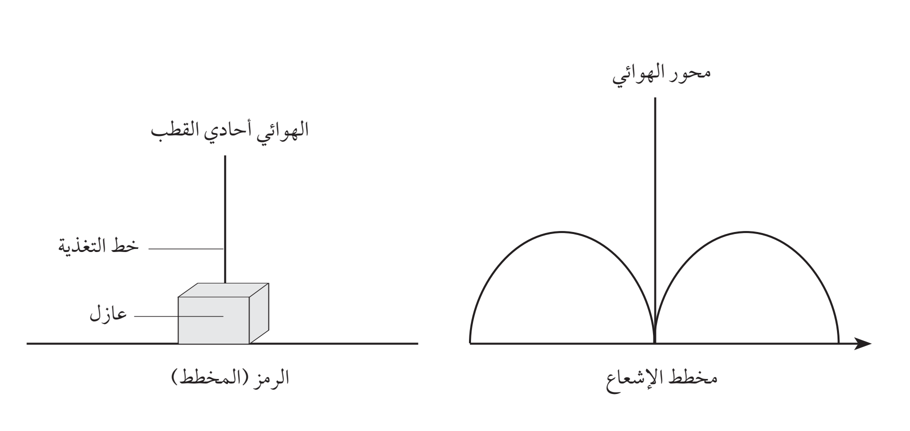
- المدى الترددي: (50 – 10000) ميجاهيرتز.
- الكسب: حوالي 2dB.
- الإستقطاب: خطي.
- مخطط الإشعاع: كما في الشكل (22).
- الاستخدام العملي: في مجال الاستقبال التلفزيوني بشكلٍ خاص، حيث يتمتع بعرض نطاق ترددي كبير (Wide Bandwidth).

## الهوائي أحادي القطب Monopole Antenna

عادةً يبلغ طوله ربع طول الموجة المراد بثها، وهو عبارة عن موصل يوضع فوق سطح الأرض ويعزل عنها، ويعدّ هوائياً لا اتجاهياً، فهو يشع موجاته في جميع الاتجاهات Omnidirectional انظر الشكل (23).

- المدى الترددي: (10 – 10000) ميجاهيرتز.
- الكسب: حوالي 2.5dB .
- الإستقطاب: خطي.
- مخطط الإشعاع: كما هو في الشكل (23).
- الاستخدام العملي: يستخدم بشكلٍ رئيس للبث والاستقبال من جميع الاتجاهات، كما في البث والاستقبال الإذاعي وهوائيات المركبة المتنقلة.






شكل (٢٣): الهوائي أحادي القطب ومخطط إشعاعه

## هوائي ياغي أودا Yagi – Uda Antenna

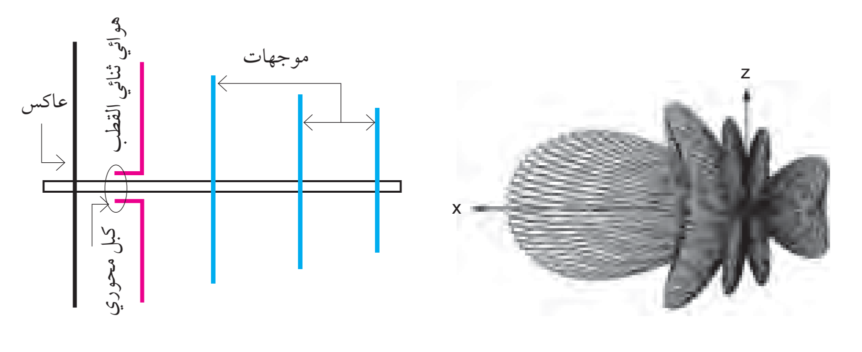
يدعى أيضاً بمصفوفة ياغي (على اسم مصممه الياباني)، وهو هوائي ثنائي القطب، أو هوائي مطوي Folded Dipole متصل بنظام من العواكس والموجهات، كما في الشكل (24):

**العاكس**: عنصر إضافي أطول قليلاً من ثنائي القطب، مصنوع من نفس مادة الهوائي، ويوضع خلف ثنائي القطب. يعمل العاكس على تقوية إشارة الهوائي في الاتجاه الأمامي، ويضعفها في الاتجاه العكسي؛ مما يزيد من كسبه.

**الموجّه**: عنصر إضافي أقصر قليلاً من ثنائي القطب، مصنوع من نفس مادة الهوائي، ويوضع أمام ثنائي القطب بهدف تحسين الإتجاهية.

ومن الملاحظ أنه يمكن استخدام أكثر من موجه وعاكس لزيادة الاتجاهية والكسب للهوائي.

- المدى الترددي: (50 – 10000) ميجاهيرتز.
- الكسب: يتراوح ما بين (5dB - 20dB) اعتمادا على تصميم الهوائي وعدد الموجهات والعواكس.
- الاستقطاب: خطي.
- مخطط الإشعاع: كما هو في الشكل (24) ويعدّ هوائي ياغي من الهوائيات الاتجاهية كما يظهر من نمط إشعاعه.
- الاستخدام العملي: يعدّ هوائي ياغي من أكثر الهوائيات العملية انتشارا، لاسيّما لاستقبال المحطات التلفازية على النطاقات الترددية VHF و UHF وإشارات FM أيضاً.



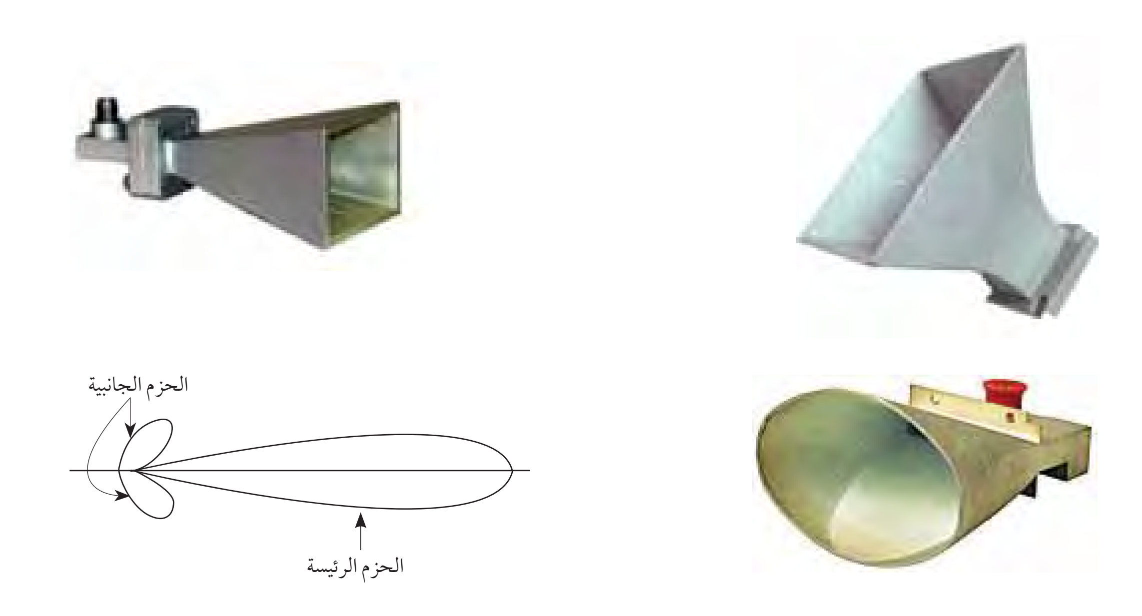



الشكل (٢٤): هوائي ياغي ومخطط إشعاعه

## هوائي البوق Horn – Antenna

ويعدّ من هوائيات الميكروويف . الشكل (25 ) يبين نماذج متعددة من هوائي البوق بالإضافة إلى مخطط الإشعاع .

- المدى الترددي : نطاق عمل ترددي كبير (1 - 10) جيجاهيرتز .
- الكسب : ذو كسب عالٍ (10 – 20 ) ديسبل .
- الإستقطاب : خطي .
- مخطط الإشعاع : كما هو في الشكل (25) وتعتبر الاتجاهية لهذا الهوائي عالية اعتماداً على مساحة مقطع فوهة البوق وشكله .
- الاستخدام العملي : يستخدم هذا الهوائي بشكلٍ أساسي في اتصالات الميكروويف ، حيث يتمتع بعدة مزايا كخفة وزنه ، وسهولة تركيبه على الأبراج .




الشكل (٢٥): صور لنماذج مختلفة من هوائي البوق ومخطط إشعاعه

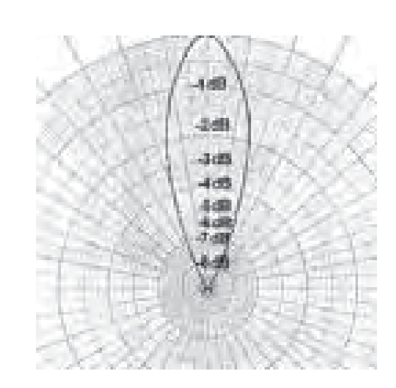
## هوائي الصحن Dish (Parabolic) Antenna

سطح معدني مقعر (على شكل صحن)، يعمل على تجميع الأشعة في بؤرته، كما تفعل المرايا المقعرة.

- المدى الترددي: نطاق عمل ترددي كبير (1- 10) جيجاهيرتز.
- الكسب: ذو كسب عالٍ(10–40) ديسبل اعتماداً على قطر الصحن المستخدم.
- الاستقطاب: يحدده استقطاب المغذي.
- مخطط الإشعاع: تكون حزمة إشعاعه مركزة وذات عرضٍ ضيق كما يظهر من نمط إشعاعه في الشكل (26)
- الاستخدام العملي:

يستخدم هذا الهوائي بكثرة في مجال ترددات الميكروويف للتراسل بين شبكات الميكروويف، في اتصالات خط الرؤية، كما ينتشر استخدامه في الاتصالات الفضائية لاستقبال المحطات التلفازية عبر الأقمار الصناعية.



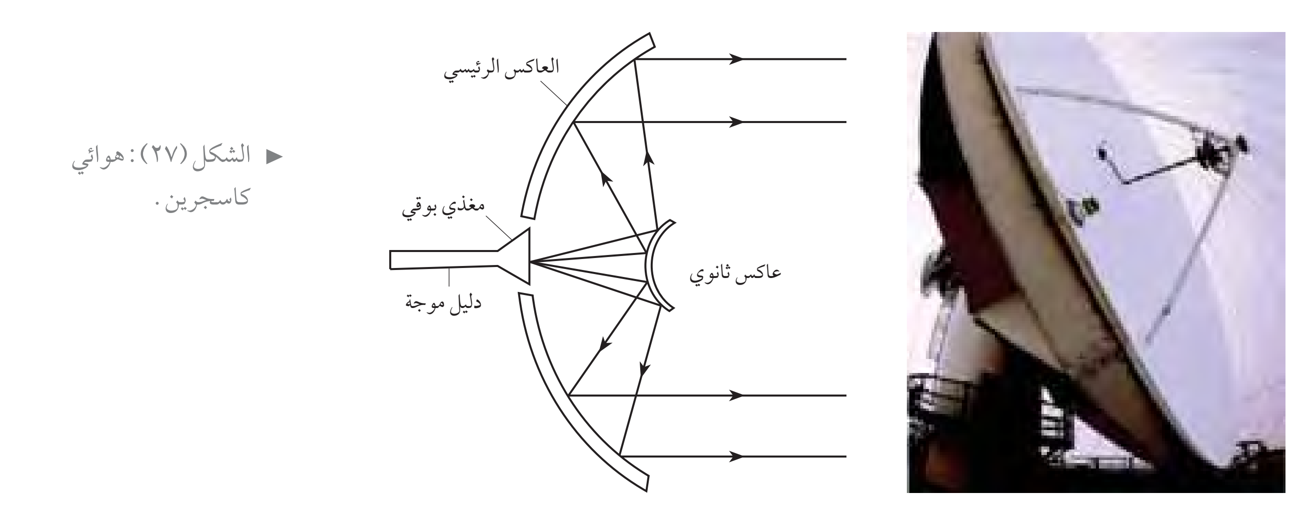


▶ الشكل (٢٦): الهوائي الصحني ومخطط إشعاعه

## هوائي كاسجرين Cassegrain Antenna

يعد هذا الهوائي من الهوائيات الصحنية، إلا أنه يمتاز باستخدامه عاكسين، حيث يوضع العاكس الثانوي المحدب أمام المغذي البوقي، ليقوم بعكس الموجات إلى العاكس الصحني الرئيسي كما هو موضح في الشكل (27).

- المدى الترددي: نطاق عمل ترددي كبير (1 - 10) جيجاهيرتز.
- الكسب: ذو كسب عالٍ (10 –40) ديسبل اعتماداً على قطر الصحن المستخدم.
- الاستقطاب: يحدده استقطاب المغذي.
- مخطط الإشعاع: يمكن الحصول على حزمة إشعاع ضيقة جداً من هوائي أصغر بكثير في أبعاده من الهوائيات التي تستخدم العاكس البوقي أو العاكس فقط.
- الإستخدام العملي: يستخدم في المحطات الأرضية للاتصال مع الأقمار الاصطناعية.




▶ الشكل (٢٧) : هوائي كاسجرين .

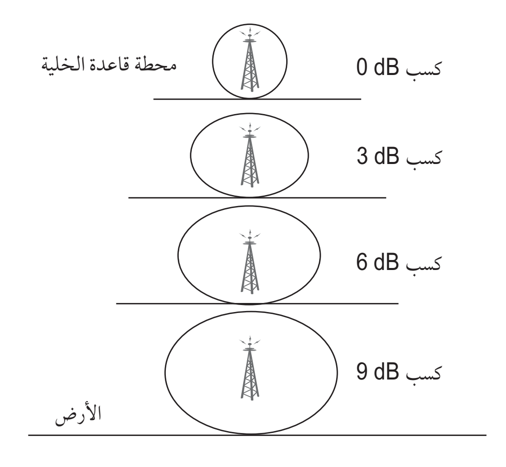
## الهوائي القطاعي Sector Antenna

وهو عبارة عن هوائي موجه Directional يركز إشعاع واستقبال الإشارات باتجاهٍ واحد يغطي قطاعاً محدداً زاويته °120 أو °90 أو °60 . أما شكله فيشبه لوحة مستطيلة بطول 4 قدم وعرض 1 قدم تقريباً كما هو مبين في الشكل(28).

- المدى الترددي : نطاق ترددات النظام الخليوي المستخدم (GSM مثلاً) .
- الكسب : ذو كسب عالٍ مقارنة بالهوائي اللا اتجاهي، وعادةً يتم التحكم بمستوى الكسب اعتماداً على مساحة الخلية المراد تغطيتها، فمثلاً يستخدم مستوى كسب (3dB) في المدن لتغطية مساحة خلية صغيرة، وعند الرغبة بزيادة مساحة الخلية يتم زيادة مستوى الكسب، كما هو موضح في الشكل (29) :



الشكل (٢٨): هوائي قطاعي Sector Antenna






الشكل (٢٩) : العلاقة بين كسب الهوائي ومساحة الخلية



- الاستقطاب : خطي .
- مخطط الإشعاع : يكون بشكل حزمة إشعاع موجه إلى قطاع (°120)، ويتم تغطية كامل الخلية بثلاث حزم إشعاعية .
- الاستخدام العملي : يستخدم الهوائي القطاعي في مركز الخلية بأنظمة الاتصالات الخليوية حيث توضع الهوائيات القطاعية Sector (عادةً ثلاثة هوائيات) على جوانب البرج لتغطية كامل مساحة الخلية كما هو مبين في الشكل (30) .

شكل (٣٠) : برج اتصال خليوي بثلاثة هوائيات قطاعية



## الهوائيات الذكية Smart Antennas

ظهر حديثاً ما يعرف بالهوائيات الذكية (Smart Antennas) والتي تعدّ من أنواع هوائيات مركز الخلية Base Station بأنظمة الاتصالات الخليوية .

تقوم فكرة عمل الهوائيات الذكية على استعمال نمط إشعاع غير ثابت من هوائي مركز الخلية (البرج)، حيث تستخدم تقنية المسح متعدد الأشعة Multibeam Scanning، كما يتضح من الشكل (٣١) :

الشكل (٣١): نمط الإشعاع في الهوائيات الذكية

يكتشف هذا النوع من الهوائيات زاوية وصول الإشارة القادمة ثم يعيد توجيه شعاع الهوائي لخدمة المستخدم .

ويعتمد عمل هذه الهوائيات على نظام محوسب، لمعالجة الإشارة والتحكم في توجيهها من خلال ربطها بالهوائيات في قاعدة الاتصال الخليوي، وأهم مزايا هذا النظام هي :

١ . زيادة سعة الشبكات اللاسلكية الرقمية، عن طريق إعادة استخدام نفس الترددات لآخرين في نفس المنطقة؛ مما يوفر استخداماً أفضل للطيف الراديوي .

٢ . تحسين الأداء بتوفير سرعة اكبر لنقل البيانات .

٣ . تحسين نوعية الاتصال بشكل ملحوظ ، حيث يمكن زيادة كسب الهوائي في الاتجاه المرغوب ، وبنفس الوقت تخفيض الإشعاع في اتجاهات التداخل Interferes.

وعلى الرغم من المزايا أعلاه، فإن الهوائيات الذكية تعاني من بعض العيوب، مثل :

١ . تعقيد أنظمة الإرسال والإستقبال Transceiver، وبالتالي ازدياد التكلفة .

٢ . إدارة عملية التراسل الراديوي أصبحت أكثر صعوبة .

٣ . يقل معدل البيانات بحركة الشخص المستقبل .

ومن المفيد معرفة أن هذه الهوائيات من الأنواع الحديثة، وهناك توجهات لتوسيع استخدامها ودمجها في مختلف الأنظمة اللاسلكية نظراً للمزايا التي تتمتع بها .

**نشـــاط (٣):**

استعن بالمراجع المختصة وبشبكة الإنترنت واكتب بإيجاز عن الهوائيات الآتية :

الهوائي الحلقي، الهوائي الحلزوني، الهوائي اللوغارتمي، الهوائيات الشريطية، هوائيات أجهزة الاستقبال الإذاعي .

## الأسئـــلة

س١ : مم تتكون الموجة الكهرومغناطيسية ؟ وما هي أهم خصائصها ؟

س٢ : اشرح ( باختصار ) طرق انتشار الموجات الكهرومغناطيسية .

س٣ : بيّن مزايا وعيوب الاتصال باستخدام :

أ . الموجات الأرضية السطحية . ب . الموجات السماوية .

س٤ : وُضعَ هوائي استقبال ارتفاعه (25 m) عن سطح الأرض على بعد (35 km) من هوائي إرسال ارتفاعه ( 36 m ) عن سطح الأرض . تحقق من وجود خط رؤية بين الهوائيين .

س٥ : اشرح ( بإيجاز ) الطبقات الرئيسة في الغلاف الجوي المحيط بالأرض .

س٦ : اذكر أهم الوظائف التي تؤديها كل طبقة من طبقات الأيونوسفير .

س٧ : ماهو تأثير الليل والنهار والفصول الأربعة وزاوية الشمس على طبقات الأيونوسفير؟ وما تأثير ذلك على عمليات الإتصال ؟

س٨ : ما هي العوامل المؤثرة في انعكاس الموجات عن الأيونوسفير ؟

س٩ : عرّف الآتية :

أ . زاوية الإشعاع الحرجة ب . التردد الحرج

جـ . مسافة القفزة د . منطقة التفويت

س١٠ : بيّن المدى الترددي، ونمط الانتشار، والتطبيق العملي، لحزم الترددات الآتية :

EHF ، UHF ، HF ، LF

س١١ : اذكر أنواع الاستقطاب، وبيّن ما الفائدة من معرفة استقطاب الموجة ؟

س١٢ : وضح بالرسم الاستقطاب الأفقي والاستقطاب العمودي .

س١٣ : عرّف الآتية :

أ . الهوائي .　　ب . الهوائي القياسي (Isotropic) .　　جـ . الديسبل (dB) .

س١٤ : اذكر أهم الخصائص التي تميز الهوائي وتحدد مجال عمله .

س١٥ : علّل بما لا يزيد عن سطرين :

أ . تستخدم دارات تحقيق المواءمة بين ممانعة الهوائي وممانعة خط النقل المتصل به في حال اختلفت الممانعتان .

ب . عند حساب أبعاد الهوائي ، يستخدم الطول الفعّال للموجة (λ́) والذي يساوي ( 0.95 λ ) .

س١٦ : ما هو الاستخدام العملي لكلٍّ من الهوائيات الآتية :

أ . هوائي ياغي أودا .　　ب . الهوائي الصحني .

جـ . الهوائي أحادي القطب .　　د . الهوائي القطاعي .

س١٧ : ارسم هوائي ياغي أودا وارسم نمط إشعاعه ، ثم اشرح عمل عناصره المختلفة .

س١٨ : اشرح فكرة عمل الهوائيات الذكية ، وعدد المزايا التي تتمتع بها .

س١٩ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

١ . تنقسم الموجات الفضائية إلى قسمين : مباشرة ومنعكسة عن سطح الأرض .

٢ . إن طبقة الستراتوسفير هي الطبقة المناخية التي تحدث بها جميع الظواهر الجوية .

٣ . تستخدم الترددات المنخفضة جداً في الاتصالات البحرية لمسافات بعيدة .

٤ . يعدّ الهوائي القطاعي Sector Antenna من الهوائيات الموجّهة .

٥ . يعدّ الهوائي الصحني أحد الهوائيات ذات الكسب المنخفض .

س٢٠ : اختر الإجابة الصحيحة مما يأتي :

١ . أي طبقات الغلاف الجوي يحدث بها معظم العوامل الجوية :

أ . الأيونوسفير .　　ب . الستراتوسفير .

جـ . التروبوسفير .　　د . الهيدروسفير .

٢ . أي من العوامل التالية تؤثر في انعكاس الموجات عن طبقة الأيونوسفير :

أ . كثافة التأين في الطبقة .　　ب . زاوية البث .

جـ . تردد الموجة المرسلة .　　د . جميع ما ذكر .

٣ . ما الذي يحدد أبعاد الهوائي :

أ . قدرة المرسل .　　ب . المسافة التي سيتم الإرسال إليها .

جـ . تردد التشغيل .　　د . لا شيئ مما ذكر .

٤ . من عيوب الهوائيات الذكية :

أ . التعقيد وزيادة التكلفة . ب . تحتاج إلى أبراج فائقة العلو .

ج . تزيد من مشاكل التداخل . د . ذات كسب منخفض .

٥ . أي من الآتية يحدد استقطاب الموجة الكهرومغناطيسية :

أ . المجال المغناطيسي H . ب . المجال الكهربائي E.

ج . زاوية الانتشار . د . لا شيء مما ذكر .

٦ . يعدّ هوائي البوق :

أ . هوائياً لا إتجاهي . ب . ذا كسب منخفض .

ج . من هوائيات اتصالات الميكروويف . د . لا شيء مما ذكر .

٧ . من مميزات هوائي ياغي أودا أنه :

أ . ذو كسب عالٍ . ب . هوائي اتجاهي .

ج . يستخدم لمدى واسع من الترددات . د . جميع ماذكر صحيح .

٨ . لزيادة الإشعاع من الهوائي نلجأ إلى :

أ . زيادة تردد الإشارة . ب . زيادة الطاقة للهوائي .

ج . زيادة طول الهوائي إلى $(\frac{\lambda}{2})$ . د . جميع ماذكر صحيح .

٩ . إن طول الموجة التي ترددها (100M HZ) يساوي :

أ . 3 أمتار . ب . 30 أمتار .

ج . 300 أمتار . د . 0.3 أمتار .

الوحـــــدة



# خطوط النقـــــــــل

# Transmission Lines



# خطوط النقـــــــل

تعدّ خطوط النقل إحدى المكونات الرئيسة لأي نظام اتصالات، وقد بدأ الاهتمام بهامنذ اختراع التلغراف في منتصف القرن التاسع عشر.

يمكن استخدام الموجات الكهرومغناطيسية وأنظمة الهوائيات المختلفة لنقل الإشارات (المعلومات) لمسافاتٍ طويلة ولكن بكفاءةٍ منخفضة.

في أنظمة الاتصالات، نحتاج غالباً لنقل الإشارات بكفاءةٍ عالية، الأمر الذي يمكن تحقيقه باستخدام خطوط النقل (Transmission Lines).

يطلق مصطلح (خط النقل) على المسار الفيزيائي الواصل بين المرسل والمستقبل.

يوجد أنواعٌ متعددة من خطوط النقل (الوسائط الموجهة Guided Media) مثل:

الخطوط السلكية الثنائية، الكوابل المحورية، الألياف البصرية.

## أهداف الوحدة

بعد انتهائك من دراسة هذه الوحدة، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

- تعرّف الخطوط السلكية الثنائية Two – Wire Lines.
- تعرّف الكوابل المحورية Coaxial Cables.
- توضح المقصود بمواءمة الممانعات Impedance Matching.
- تشرح مفهوم الموجات المستقرة Standing Waves وأهميتها.
- تُعَرِّف خطوط الألياف البصرية Optical Fibers.

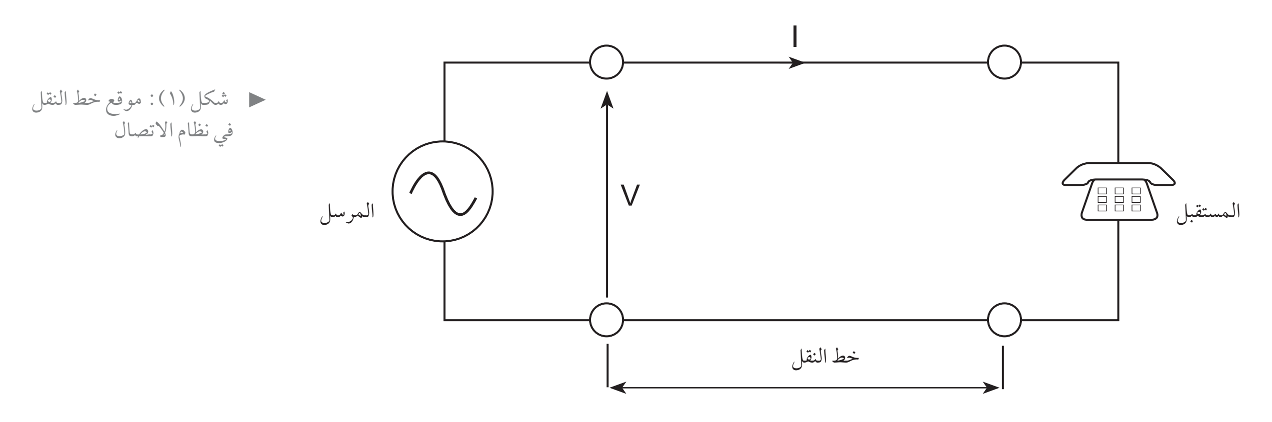
## ثوابت وأساسيات خطوط النقل المعدنية

الوظيفة الرئيسة لخط النقل في نظام الاتصال هي نقل الإشارات من المرسل (المصدر) إلى المستقبل بأقل قدرٍ من الضياع في الطاقة . ويعتمد تحقق هذا الغرض على الخواص الفيزيائية والكهربائية لخط النقل

سنناقش في الجزء الأول من هذه الوحدة أهم ثوابت و أساسيات خطوط النقل المعدنية ، مع التذكر دائماً أن هذه الأمور تشمل جميع خطوط النقل المعدنية (الثنائية والمحورية) .

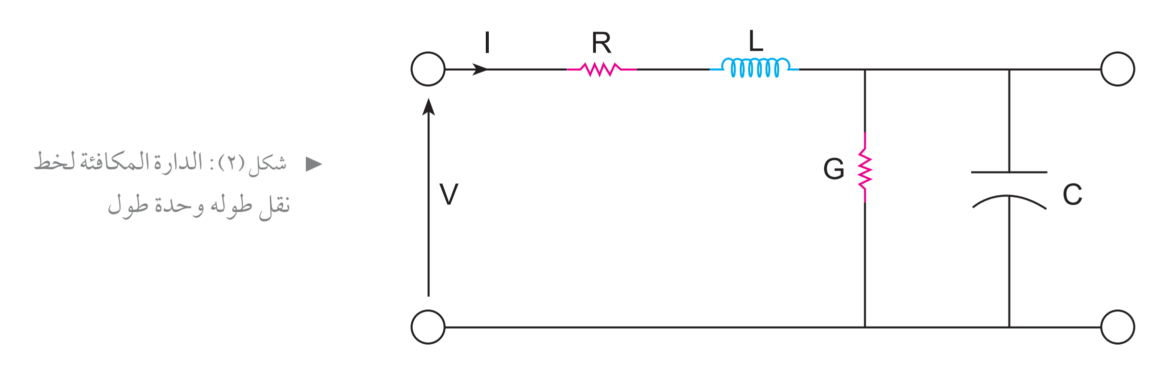
### أهم الثوابت والأساسيات

١ . يعدّ خط النقل جزءاً من الدارة الكهربائية في نظام الاتصال ، حيث إن توصيله بين المرسل (مصدر الطاقة) والمستقبل (جهاز هاتف مثلاً) يؤدي إلى اكتمال الدارة الكهربائية كما هو موضح في الشكل (1) .




شكل (١): موقع خط النقل في نظام الاتصال

٢ . لكل خط نقل مقاومة (R) وحثية (L) وسعة (C) وموصلية (G) كما في الشكل (2) .




شكل (٢): الدارة المكافئة لخط نقل طوله وحدة طول

حيث : R : مقاومة خط النقل لوحدة الطول .

L : حثية خط النقل لوحدة الطول .

C : سعة خط النقل لوحدة الطول .

G : موصلية خط النقل لوحدة الطول .

وتكون هذه الثوابت (Constants) موزعة على طول خط النقل وتعتمد قيمها على :

- طول خط النقل ، حيث تكون العلاقة طردية بين طول الخط وقيم جميع الثوابت (G ،C ،L ،R) .
- سمك الأسلاك الناقلة ، ويكون تأثيرها عكسياً على قيم المقاومة R والحثية L .
- المسافة بين الأسلاك ، ويكون تأثيرها عكسياً على قيم السعة C والموصلية G .
- نوعية المعدن المصنوع منه الأسلاك .
- المادة العازلة بين الأسلاك .

**نشـــــاط (١):**

بمساعدة معلم المادة ، ناقش مع زملائك تأثير نوعية المعدن والمادة العازلة بين الأسلاك على قيم ثوابت خط النقل .

٣ . يضيع جزء من الطاقة المنقولة عبر خط النقل فيما يسمى بمفاقيد خط النقل (Line Losses) والتي تشتمل على :

- مفاقيد نحاسية (Copper Losses) تضيع على شكل حرارة بسبب المقاومة R .
- مفاقيد العازل الكهربائي (Dielectric Losses) وتنتج من تأثير الحرارة على المادة العازلة بين موصلات خط النقل .
- مفاقيد الإشعاع (Radiation Losses) وتنتج عن إشعاع جزء من المجال المغناطيسي حول الموصل إلى محيطه ، ولاسيما عند ازدياد التردد .

٤ . عندما تكون الإشارات المنقولة ذات ترددات عالية فإن تأثير الحثية والسعة يكون أكبر بكثير من تأثير المقاومة والموصلية في إضعاف الإشارات المنقولة .

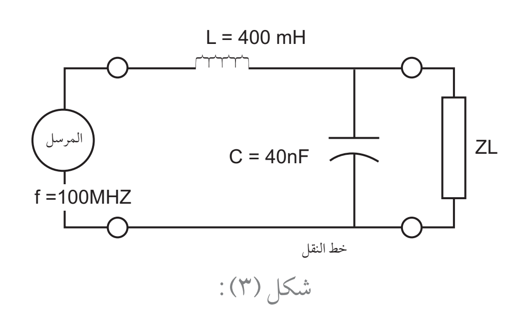
٥ . يوجد لكل خط نقل ممانعة مميزة Characteristic Impedance ($Z_0$) تحدد العلاقة بين الفولتية والتيار عند أي نقطة على خط النقل . ويمكن حسابها عند الترددات العالية من العلاقة .

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}\ (\Omega) = \frac{V}{I}$$

حيث : L : حثية خط النقل بالهنري .

C : سعة خط النقل بالفاراد .

**مثـــال (١):** احسب قيمة الممانعة المميزة لخط النقل المبين في الشكل (3) .



شكل (٣):

**الحـــــل:** بما أن تردد الإشارات المرسلة عالٍ جداً، يمكن إهمال تأثير المقاومة R والموصلية G إذن :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\Omega)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{400 \times 10^{-6}}{40 \times 10^{-9}}}$$

$$Z_0 = \sqrt{10000} = 100 \quad (\Omega)$$

## خطوط النقل السلكية الثنائية Two – Wires Lines

يعرّف خط النقل السلكي الثنائي بأنه : زوجٌ من الأسلاك المعدنية بينهما مادة عازلة . وغالباً ما تصنع الأسلاك من النحاس أو الألومنيوم أو أية مادة جيدة التوصيل للكهرباء . أما المادة العازلة فغالباً ما تكون من البلاستيك .

يوجد أشكالٌ متعددة من الخطوط السلكية الثنائية نذكر منها الخط المتوازي، وخط الزوج المجدول، وخط النقل السلكي الثنائي المحمي .

### الخط المتوازي Parallel Line

يمكن بناء أشكال متعددة من الخطوط المتوازية، مثل :

١ . الخط المفتوح Two-Wire Open Line : وقد استخدم قديماً في خطوط التلغراف وفي الخطوط الهاتفية الخارجية (للمناطق البعيدة)، أما اليوم فاستخدامه نادر .

٢ . الخط ذوالسلكين المتوازيين الشريطي Two-Wire Ribbon (Twin Lead) Line

- **الشكل** : كما هو مبين في الشكل (4) .
- **التركيب** : يتكون هذا الخط من سلكين متوازيين تفصل بينهما مادة عازلة من البولي إثيلين، أو أية مادة بلاستيكية ؛ بهدف تثبيتهما وحمايتهما من المؤثرات الخارجية .
- **الممانعة المميزة $Z_0$** : تصل إلى 300 أوم .
- **الاستخدام** : استخدم (بشكلٍ رئيس) لنقل الإشارات التلفازية .
- **أهم المزايا** : الكفاءة العالية والسعر المنخفض .
- **أهم العيوب** : يتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية الناتجة عن إشارات التشويش .



شكل (٤): الخط ذوالسلكين المتوازيين الشريطي

### خط الزوج المجدول Twisted Pair Line



شكل (٥): خط الزوج المجدول

- **الشكل**: كما هو مبين في الشكل (5).
- **التركيب**: عبارة عن سلكين معزولين ومجدولين معاً كما في الشكل (5).
- **الممانعة المميزة $Z_0$**: من (75) إلى (150) أوماً.
- **الاستخدام**: يستخدم هذا الخط بشكلٍ خاص عند العمل في بيئةٍ مشوشة (Noisy Environment).
- **أهم المزايا**: لا يتأثر بإشارات التشويش، حيث يؤدي التفاف السلكين إلى إلغاء أية فولتية تشويش تتولد في أحد السلكين من قبل فولتية التشويش المتولدة في السلك الآخر.
- **أهم العيوب**: يعاني هذا الخط من ارتفاع فقد العازلية Dielectric Loss عند ازدياد تردد الإشارات المنقولة.

### خط النقل ذو السلكين المحمي Two-Wire Shielded Line



شكل (٦): خط النقل ذو السلكين المحمي

- **الشكل**: كما هو مبين في الشكل (6).
- **التركيب**: يتكون هذا الخط من سلكين موضوعين في مادة عازلة (بولي إيثيلين) يحيط بها شبكة نحاسية تعمل كحماية للسلكين، في حين يتم تغطية الشبكة النحاسية بغلافٍ خارجي للحماية. انظر الشكل (6).
- **الممانعة المميزة $Z_0$**: مابين (50 – 100) أوم.
- **الاستخدام**: يستخدم للدارات والأجهزة عالية الحساسية عندما يزداد تأثير التشويش الخارجي.
- **أهم المزايا**: لا يتأثر بإشارات التشويش، حيث يتم تفريغ فولتية التشويش إلى الأرض عن طريق الشبكة النحاسية التي يتم وصلها بالأرضي.
- **أهم العيوب**: إضعافه للإشارة المنقولة عند استخدامه لمسافةٍ طويلة بسبب التوهين العالي الذي يسببه.

### مزايا الخطوط السلكية الثنائية

بشكلٍ عام، يمكن تلخيص أهم مزايا الخطوط السلكية الثنائية بالآتي:

- انخفاض ثمنها مقارنةً بالأنواع الأخرى من خطوط النقل.
- سهلة التمديد والإنشاء؛ فهي لا تحتاج إلى مهارات فنية عالية للتعامل معها.

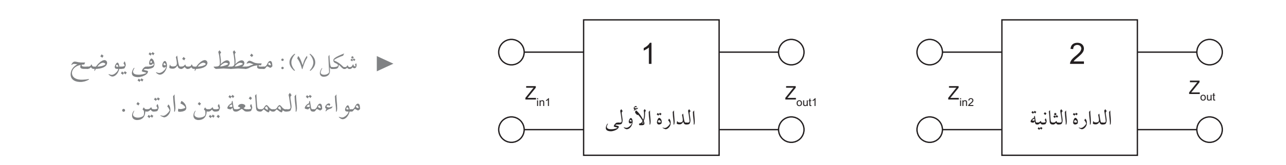
### عيوب الخطوط السلكية الثنائية

- صغر النطاق الترددي لها، وبالتالي انخفاض سرعة الإرسال.
- عالية الفقد؛ مما يؤدي إلى زيادة عدد المحطات المعيدة، وبالتالي ارتفاع التكلفة عند الإرسال لمسافات بعيدة.
- معظمها يتأثر بالتداخلات الكهرومغناطيسية من مصادر التشويش المختلفة.
- إمكانية التنصت عليها، مما يقلل من درجة الأمان والسرية في نقل المعلومات.

## مواءمة الممانعات Impedance Matching

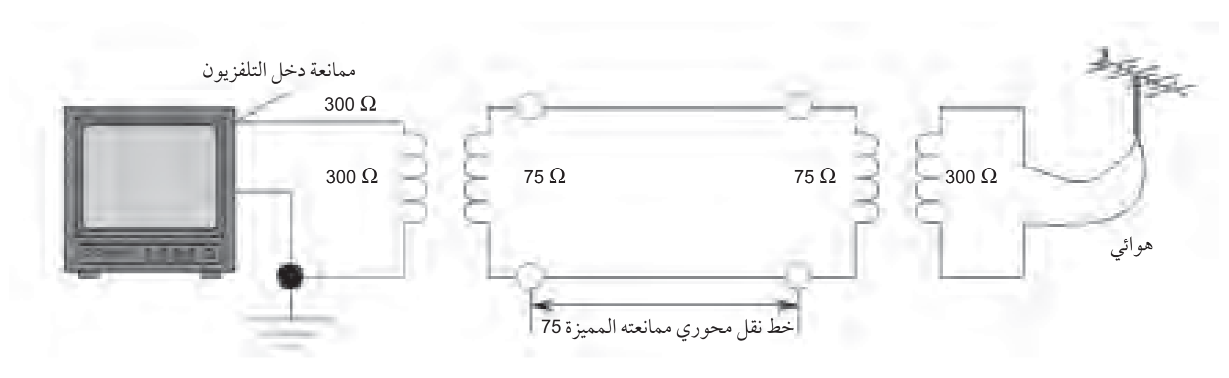
عند ربط دارتين كهربائيتين معاً كما في الشكل (7)، فإنه يجب تحقيق أكبر قدر ممكن من المواءمة في الممانعة بين الدارتين.

بمعنى أن تكون ممانعة مخرج الدارة الأولى ($Z_{out1}$) مساوية لممانعة مدخل الدارة الثانية ($Z_{in2}$) والهدف من تحقيق المواءمة هو: (ضمان انتقال أكبر قدر ممكن من الطاقة من الدارة الأولى إلى الدارة الثانية).




شكل (٧): مخطط صندوقي يوضح مواءمة الممانعة بين دارتين.

وفي حال عدم تحقق المواءمة بين الدارات (أو الأجهزة) الكهربائية المختلفة، يجري استخدام دارات خاصة لتحقيق ذلك، كاستخدام محول مواءمة كما هو موضح في المثال الآتي:




شكل (٨): استخدام المحولات في عملية المواءمة.

كما يتضح من الشكل أعلاه ، فقد تم استخدام محولي مواءمة :

**الأولى :** بين ممانعة الهوائي 300 أوم وممانعة خط النقل 75 أوماً .

**الثانيـة :** بين ممانعة خط النقل (75) أوماً وممانعة مدخل جهاز التلفاز (300) أوم، وبذلك يتم انتقال أعظم قوة للإشارة من الهوائي إلى جهاز التلفاز .

**مثـــال (٢):** إذا كانت قدرة الخرج في جهاز إرسال تساوي 100 واط ، وكان مقدار الطاقة المرتدة (Reflected Powe) يساوي 20 واط تضيع جميعها على شكل طاقة حرارية في خط النقل ، فاحسب : مقدار القدرة الفعلية التي سيتم توصيلها لهوائي الإرسال .

**الحــــــل:** القدرة الداخلة للهوائي = القدرة الواردة (للهوائي) – القدرة المرتدة من الهوائي

= 100 - 20

= 80 واط

## الموجات المستقرة Standing Waves

عرفنا مما سبق ضرورة تحقيق المواءمة في الممانعة بين خط النقل من جهة والدارات المغذية (كالمرسل) أو المستقبلة (كالهوائي) من جهةٍ أخرى .

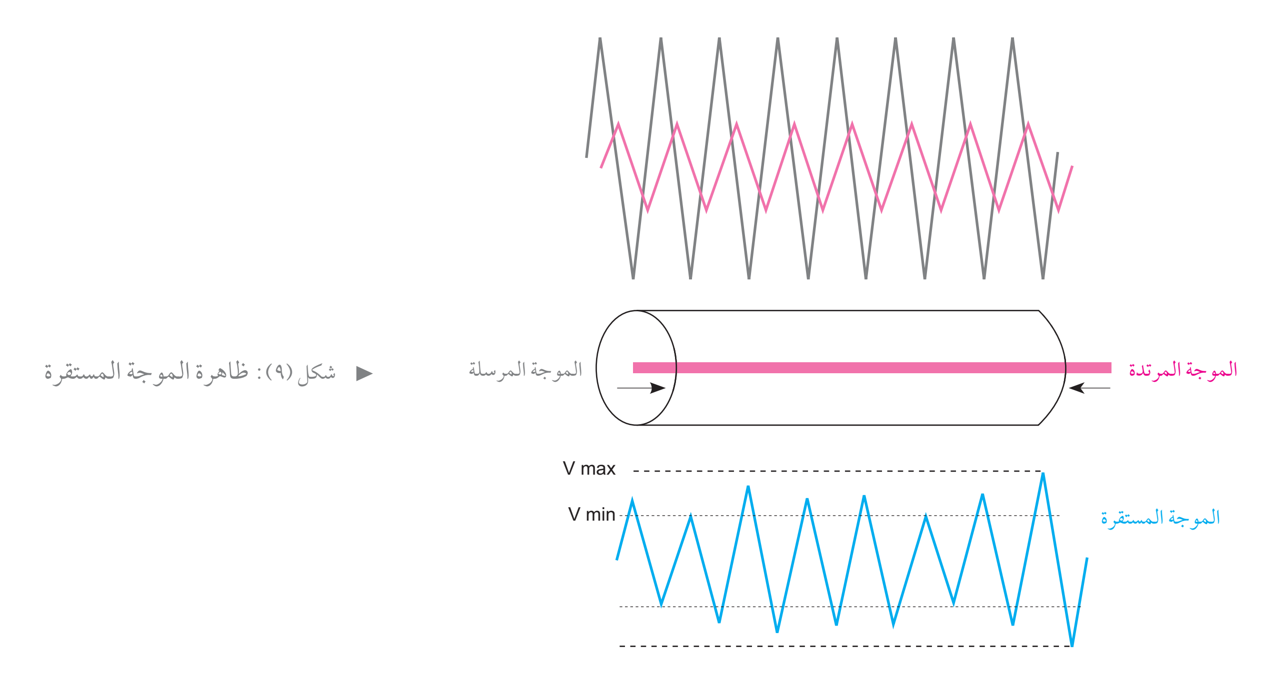
ولكن ماذا يحدث إذا اختلفت قيمة الممانعة المميزة لخط النقل $Z_O$ عن قيمة ممانعة الحمل $Z_L$ .

أي إن : $(Z_L \neq Z_0)$

في هذه الحالة فإن جزءاً من الطاقة المرسلة عبر الخط يرتد عائداً إلى المصدر ، بحيث يتكون نوعان من الموجات على طول خط النقل ، هما :

- الموجات المرسلة (من المرسل إلى الحمل Load) .
- الموجات المرتدة (من الحمل إلى المرسل) .

إن تداخل هذه الموجات بعضهما ببعض يؤدي إلى ظهور الموجات المستقرة Standing Waves والتي يمكن **تعريفها بأنها** : محصلة التداخل بين الموجات المرسلة والموجات المرتدة . ولا تلبث هذه الطاقة العائدة أن تضيع على شكل مفاقيد حرارية في مقاومة الخط ، أو في مقاومة مخرج المرسل (المصدر) . الشكل (9) يوضح ظاهرة الموجة المستقرة .




▶ شكل (٩): ظاهرة الموجة المستقرة

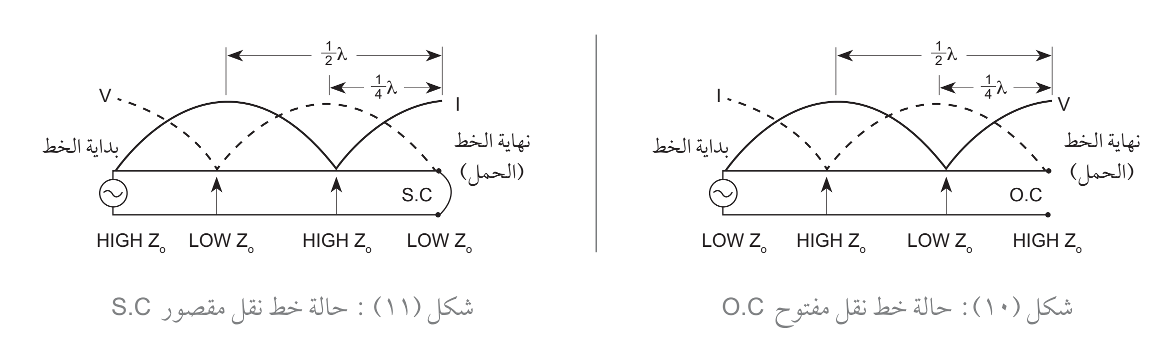
تعتمد قيمة الطاقة المرتدة إلى المصدر على مقدار الفرق بين ممانعة الحمل $Z_L$ والممانعة المميزة لخط النقل $Z_0$، وبناءً على ذلك سنقوم بدراسة الحالات الآتية :

١ . عندما يكون الحمل مفتوحاً (Open Load) [$Z_L = \infty$]

وهنا يحدث ارتداد كامل للموجات المرسلة من المصدر ؛ لأنه لا يوجد حمل لاستهلاك هذه الطاقة، وتكون الفولتية عند نهاية الخط أعظم ما يمكن، والتيار يساوي صفراً، أما الموجة المستقرة فتكون أكبر مايمكن . الشكل (10) يوضح هذه الحالة .

٢ . عندما يكون الحمل مقصوراً (Short Circuited Load) [$Z_L = 0$]

كما في الحالة السابقة، يحدث أيضاً ارتداد كامل للموجات على طول خط النقل، غير أن الفولتية في نهاية خط النقل تساوي صفراً، أما التيار فيكون أكبر مايمكن، وكذلك الموجة المستقرة تكون أكبر مايمكن . الشكل (11) يوضح هذه الحالة .

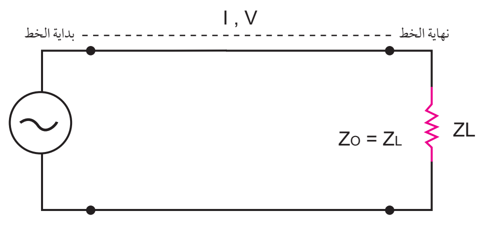



شكل (١٠): حالة خط نقل مفتوح O.C

شكل (١١) : حالة خط نقل مقصور S.C

٣ . عندما تكون ممانعة الحمل مساوية للممانعة المميزة لخط النقل [ $Z_L = Z_0$ ]

في هذه الحالة يحصل أكبر انتقال للطاقة من خط النقل للحمل، ولا يرتد أي جزء منها، كما ينعدم تواجد الموجات المستقرة على خط النقل. انظر الشكل (12).



شكل (١٢): حالة الخط عندما ZL = Z0

مما سبق، نستنتج أن تكون الموجات المستقرة على خط النقل مرتبطة بالفرق بين قيمتي $Z_L$ و $Z_0$ وأن النسبة بين أعظم فولتية Vmax وأقل فولتية Vmin للموجة المستقرة تدعى بنسبة فولتية الموجة المستقرة أو معامل الموجة المستقرة VSWR.

حيث: (لا تؤخذ القطبية بعين الاعتبار) $VSWR = \left|\frac{Vmax}{Vmin}\right|$

ويستفاد من معرفة معامل الموجة المستقرة VSWR في قياس كفاءة نقل الطاقة عبر خط النقل، وهنا يمكن تسجيل الملاحظات العملية الآتية:

- عندما VSWR = 1، يكون نقل الطاقة عبر خط النقل تاماً Perfect (وهي حالة مثالية وليست عملية)
- عندما $1.5 \geq VSWR > 1$ تشير هذه الحالة إلى كفاءة كبيرة في نقل الطاقة.
- عندما $VSWR > 2$ تعدّ هذه الحالة مؤشراً على انخفاض كفاءة نقل الطاقة Poor Matching.

**مثـــال (٣):** استخدم خط نقل في أحد أنظمة الاتصالات للربط بين مرسل ومستقبل، وعندما تم قياس مقدار الفولتية العظمى للموجة المستقرة في الخط كانت قيمتها 10 فولتات، أما القيمة الصغرى لفولتية الموجة المستقرة فكانت تساوي 3 فولتات.

١. احسب قيمة معامل الموجة المستقرة VSWR لخط النقل المستخدم.

٢. بيّن هل هذا الخط مواءم Matched أم لا؟

**الحـــــل:**

١. $VSWR = \left|\frac{V\,max}{V\,min}\right| = \frac{10}{3} = 3.33$

٢. بما أن قيمة معامل الموجةالمستقرة للخط المستخدم (3.33) أكبر من (2)

إذن، نستنتج بأن الخط المستخدم غير مواءم.

## معامل الارتداد Reflection Factor

يعد معامل الارتداد من الخصائص المميزة لخط النقل ويستخدم لقياس كفاءة خط النقل (عملية نقل الطاقة) بحيث أنه كلما ازدادت قيمة معامل الارتداد دلّ ذلك على انخفاض كفاءة النقل (بسبب عدم مواءمة خط النقل مع الحمل) والعكس صحيح. ويعرّف بأنه:

النسبة بين القيمة العظمى للموجة المرتدة $V_R$ والقيمة العظمى للموجة المرسلة $V_T$ ويرمز إليه بالرمز $K_R$

$$K_R = \frac{V_R}{V_T} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots \; 1$$

حيث : $K_R$ : معامل الارتداد، وعادةً ما يعبر عنه كنسبة مئوية .

$Z_L$ : ممانعة الحمل

$Z_0$ : الممانعة المميزة لخط النقل .

وإذا كانت قيمة VSWR معروفة فيمكن حساب قيمة $K_R$ من العلاقة الآتية :

$$K_R = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots \; 2$$

وبالعكس، فإذا كانت قيمة $K_R$ معروفة فإن :

$$VSWR = \frac{1+K_R}{1-K_R} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots \; 3$$

**نشـــاط (٢):**

باستخدام العلاقتين 1، 3 أثبت أن : $VSWR = \frac{Z_L}{Z_0}$

**مثـــال (٤):** باستخدم خط نقل ذي ممانعة مميزة تساوي $(Z_0 = 75\ \Omega)$ لإيصال الطاقة إلى حمل مقداره $(100\ \Omega)$.

١ . إحسب مقدار معامل الموجة المستقرة VSWR للخط المستخدم .

٢ . علّق على كفاءة الخط بحسب قيمة VSWR المحسوبة في الخطوة السابقة .

**الحـــــل:** ١ . $VSWR = \frac{1+K_R}{1-K_R}$

لكن : $K_R = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{100 - 75}{100 + 75} = 0.142$

وبالتعويض في المعادلة أعلاه نحصل على

$$VSWR = \frac{1+K_R}{1-K_R} = \frac{1 + 0.143}{1 - 0.143} = 1.33$$

٢ . بما أن قيمة VSWR للخط تساوي (1.33). وهي أقل من (1.5)، فإن ذلك يشير إلى كفاءة عالية في نقل الطاقة إلى الحمل باستخدام هذا الخط .

## الكوابل المحورية Coaxial Cables

تعد الكوابل المحورية من أنواع خطوط النقل الشائعة الاستخدام حيث تم تصميمها للتخلص من السلبيات التي تعاني منها الخطوط الثنائية، ولسد الحاجة إلى استعمال خط نقل ذي كفاءة عالية وتكلفة معقولة.

### التركيب الأساسي

يتركب الكيبل المحوري Coaxial Cable كما هو موضح في الشكل (13) من:

١. موصل داخلي لنقل الإشارات.

٢. موصل خارجي أسطواني الشكل (شبكة نحاسية) Copper Mesh يعمل كحماية Shield للموصل الداخلي من التداخلات الكهرومغناطيسية.

٣. مادة عازلة Dielectric تفصل بين الموصلين.

٤. غلاف خارجي عازل لحماية الكيبل من المؤثرات الخارجية.




شكل (١٣): تركيب الكابل المحوري

### الاستخدامات

هناك أنواع عديدة من الكوابل المحورية، حيث يستخدم كل نوع بحسب الغاية من استخدامه ومكان الاستخدام، وحتى فترةٍ قريبة كانت الكوابل المحورية تستخدم على نطاقٍ واسع في شبكات الاتصالات الهاتفية للربط بين المقاسم المختلفة قبل أن يتم استبدالها بكوابل الألياف البصرية ذات الكفاءة العالية، ومع ذلك فما زالت الكوابل المحورية تستخدم في العديد من التطبيقات العملية، مثل:

١. نقل الإشارات التلفازية من الهوائيات إلى أجهزة التلفاز.

٢. الكوابل المخصصة لغايات توصيل وفحص الإشارات، كتلك المستخدمة مع أجهزة راسم الإشارة Oscilliscope ومولد الإشارة وغيرها.

٣. يستخدم في محطات الميكروويف لنقل الإشارات من أجهزة الإرسال إلى أدلة الموجة Wave Guides على أبراج الميكروويف العالية.

٤. في تمديدات شبكات تلفاز الكوابل المنتشرة في العديد من الدول.

غالباً ما تستخدم الكوابل المحورية نوع RG والتي تشمل أنواعاً أخرى، مثل :

أ . (RG–58) و (RG–8) بممانعة مميزة تساوي 50 أوماً، والتي يكثر استخدامها في أنظمة الإتصالات المختلفة .

ب . (RG–59) و (RG–6) بممانعة مميزة تساوي 75 أوم، وتستخدم غالباً لنقل الإشارات التلفازية من الهوائيات إلى أجهزة التلفاز .

الجدول (1) يبين أشهر الأنواع المستخدمة بالإضافة إلى معلومات عن أهم خصائصها الفنية :

| نوع الكابل المحوري Coax. Type | الحجم Size | الفقد عند الترددات العالية Loss at HF 100MHZ | الفقد عند الترددات فوق العالية Loss at UHF 400 MHZ |
|---|---|---|---|
| RG – 6 | كبير | 2.3dB | 4.7dB |
| RG – 59 | متوسط | 2.9dB | 5.9dB |
| RG – 58U | صغير | 4.3dB | 9.4dB |
| RG – 8X | متوسط | 3.7dB | 8dB |
| RG – 8U | كبير | 1.9dB | 4.1dB |
| RG – 213 | كبير | 1.9dB | 4.5dB |
| Hardline خط صلب | كبير | 0.5dB | 1.5dB |

الجدول (١) : أنواع متعددة من الكوابل المحورية .

## أهم مزايا وعيوب الكوابل المحورية

يمكن تلخيص أهم المزايا بما يأتي :

- ذات نطاق ترددي واسع يصل إلى (1GHz) في الأنواع العادية وإلى (1.5GHz) في النوع الصلب (Hard Line Coaxial)؛ مما يزيد من كمية المعلومات المنقولة .
- انعدام الفقد الناتج من الإشعاع؛ لأن الموجات الكهرومغناطيسية تنحصر داخل الكيبل .
- لا تتأثرأو تتداخل بالمجالات الكهرومغناطيسية المجاورة (بسبب وجود الشبكة الحامية والتي يتم تأريضها)؛ مما يجعلها مناسبة للاستخدام في الأماكن المشوشة .
- سهلة التركيب .
- ذات عمر تشغيلي طويل وبالتالي فهي اقتصادية .

**أما أهم عيوب الكوابل المحورية فأهمها :**

- ذات فقد عالٍ نسبياً، ينتج عن مقاومة الموصل والمادة العازلة بين الموصلين، ويزداد هذا الفقد بازدياد التردد .
- إمكانياتها في تحمل القدرات العالية محدودة .

## الألياف البصرية Optical Fiber

إن الثورة الهائلة في مجال الاتصالات وتبادل المعلومات والزيادة المطّردة في الاتصالات الهاتفية والمرئية بالإضافة إلى الاستخدام الواسع للإنترنت فرض واقعاً جديداً أدّى إلى زيادة الطلب على أنظمة الاتصالات ذات السعة الكبيرة والاقتصادية العالية .

كما درست في بداية هذه الوحدة ، فإن خطوط النقل التقليدية تبقى ذات سعات محدودة بالنسبة للحاجات المتزايدة لشبكات الاتصال، أما أنظمة الميكروويف الأرضية و الاتصالات الفضائية فلم تقدم إلاّ حلاً جزئياً لهذه المشكلة .



شكل (٢٤) : الألياف البصرية

من هنا فقد نشأت الحاجة إلى استخدام شبكات اتصال ذات سعة نقل بيانات هائلة جداً واقتصادية في نفس الوقت، الأمر الذي أمكن تحقيقه باستخدام الألياف البصرية التي يبدأ نطاق تردداتها من $10^{12}$ هيرتز ولغاية $10^{16}$هيرتز .

تعرّف الألياف البصرية بأنها : خيوط رقيقة وشفافة مصنوعة من الزجاج أو البلاستيك على شكل شعيرات متينة، تقوم بنقل المعلومات (بعد تحويلها إلى ضوء) من المرسل إلى المستقبل . كما في الشكل (24) .

### مزايا وعيوب الألياف البصرية

تمتاز الألياف البصرية بالعديد من المزايا المهمة خصوصاً إذا ماقورنت بخطوط النقل التقليدية (السلكية الثنائية والمحورية )، ومن أهم هذه المزايا ما يأتي :

- سعتها العالية جداً، بسبب اتساع النطاق عند الترددات الضوئية ؛ مما يعني أن كماً هائلاً من المعلومات يمكن إرساله عبر هذه الألياف وبسرعة عالية جداً .
- فقد الطاقة خلال عملية التوصيل قليل جداً، وبالتالي فلا حاجة للمحطات المعيدة إلاّ على مسافة تزيد عن (50Km) مقابل (5Km) للأسلاك النحاسية .
- مناعة تامة من التداخلات الكهرومغناطيسية، وسبب هذه المناعة أن الليف البصري غير ناقل للكهرباء كما أنه لا يشع الطاقة، وبالتالي فهو لا يسبب تداخلاً مع أنظمة الاتصال الأخرى .
- خفيفة الوزن وغير سميكة ؛ مما يسهل عمليات التخزين والنقل والتمديد والتركيب، أنظر الشكل (25) .
- لا يمكن التنصت عليها كمثيلاتها المعدنية؛ مما يجعلها مرغوبة لاستخدامات معينة (الإتصالات العسكرية مثلاً ) .



شكل (٢٥) : شبكة ألياف بصرية قيد الإنشاء

**أما العيوب فأهمها :**

- الكلفة الإبتدائية العالية عند تركيب النظام البصري .
- الحاجة إلى كوادر فنية عالية التدريب خلال عمليات تمديد الكابلات وصيانة الشبكة والمعدات .

## الاستخدامات العملية للألياف البصرية



شكل (٢٦) : تمديدات لشبكة ألياف بصرية في أحد المواقع

تعدّ الألياف البصرية من المكونات الحديثة نسبياً في شبكات الاتصال ، ومع ذلك فقد انتشر استخدامها بشكل واسع في السنوات الأخيرة نظراً للمزايا العديدة التي تتمتع بها ، حيث يكثر استخدامها في :

١ . شبكات الاتصال بعيدة المدى ، حيث تم تمديد ملايين الكيلومترات من خطوط الألياف البصرية في معظم دول العالم .

٢ . الوصل بين المقاسم في الشبكات الهاتفية . انظر الشكل (26) .

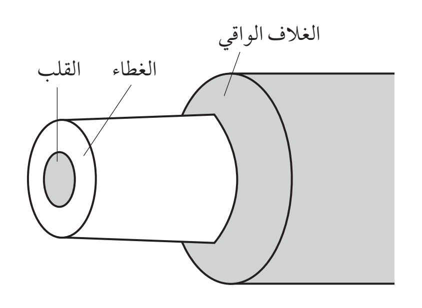
٣ . نقل البيانات في شبكات الحاسوب و الإنترنت .

٤ . شبكات تلفاز الكوابل المنتشرة في العديد من الدول .

٥ . الإتصالات العسكرية لاستحالة التنصت عليها .



## تركيب الألياف البصرية




شكل (٢٧) : مكونات الليف البصري

يتكون الليف البصري بشكل أساسي ، وكما يتضح من الشكل (27) من :

١ . القلب Core : يمثل المسار الداخلي الذي ينتقل من خلاله الضوء .

٢ . الغطاء Cladding : هو المادة الخارجية التي تحيط بالقلب ، ويكون أقل كثافة من مادة القلب ، حيث يعمل على عكس الضوء باستمرار ليظل داخل القلب .

٣ . الغلاف Buffer Coating : هو عادةً من مادة بلاستيكية لحماية الليف من المؤثرات الخارجية .

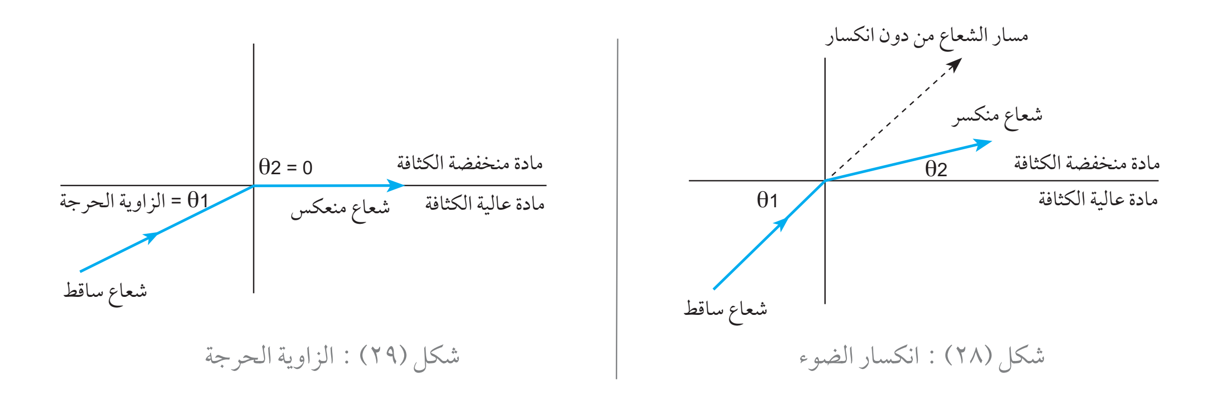
## انتشار الضوء عبر الليف البصري

تعدّ الألياف البصرية المكون الأساسي لكوابل الألياف البصرية المستخدمة في أنظمة الاتصال ، حيث يستخدم الضوء كحاملٍ للمعلومات Carrier .

لشرح مبدأ عمل الليف البصري لا بد من التطرق إلى بعض الحقائق الخاصة بانتشار الضوء :

- ينتشر الضوء في الفضاء الحر بسرعته البالغة ($3 \times 10^8$) متر/ ثانية ، وتنخفض سرعته عند انتقاله في المواد الأكثر كثافة من الفضاء .

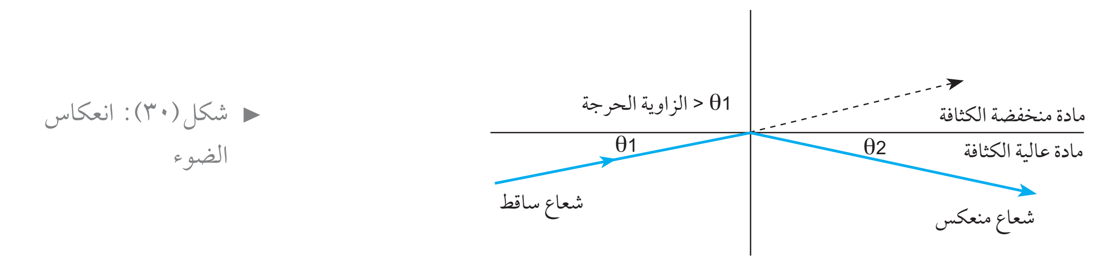
- عند انتقال الضوء من مادة عالية الكثافة إلى مادة منخفضة الكثافة يحدث له انكسار Refraction بحيث يتجه إلى المادة عالية الكثافة، كما هو مبين في الشكل (28).
- تعرّف الزاوية الحرجة بأنها : زاوية السقوط ($\theta$ 1) التي تصبح عندها زاوية الانكسار ($\theta$ 2) مساوية للصفر، كما هو مبين في الشكل (29).




شكل (٢٨) : انكسار الضوء

شكل (٢٩) : الزاوية الحرجة

- إذا قلت زاوية السقوط (θ1) عن قيمة الزاوية الحرجة يحدث انعكاس Reflection للشعاع الضوئي ولا يخترق المادة ذات الكثافة المنخفضة ، كما هو مبين في الشكل (30).




▶ شكل (٣٠): انعكاس الضوء

نستنتج مما سبق أن انتشار الضوء عبر الألياف البصرية يعتمد على مبدأ الانعكاس الكلي الداخلي للشعاع الضوئي والذي نحصل عليه بإرسال الضوء بزاوية أصغر من الزاوية الحرجة.

## التوهين في الألياف البصرية

بشكل عام فإن التوهين ينتج عن الفقد Loss، وهو في الألياف البصرية أقل بكثيرٍ منه في الأنواع الأخرى من خطوطٍ النقل، ومع ذلك فلابد من دراسة الأسباب التي تؤدي إلى الفقد، وبالتالي توهين الإشارة الضوئية المنقولة نظراً للتأثير السلبي على سعة النطاق الترددي، وبالتالي تحديد سرعة ومسافة الإرسال.

### أما أهم أنواع الفقد في الليف فهي

١. **فقد الامتصاص** Absorption Loss : يحدث بسبب بعض الشوائب القليلة التي تمتص الضوء وتحوله إلى حرارة. بشكل مشابه للفقد الناتج عن مرور تيار كهربائي في سلك نحاسي.

٢ . **فقد التناثر** Scattering Loss : يحدث بسبب طبيعة تصنيع الألياف البصرية لتصبح أليافاً طويلة ، حيث تسبب عملية الشد لهذه الألياف ظهور أجزاء غير منتظمة لا يمكن ملاحظتها (ميكروسكوبية) تبقى في الليف البصري وتسبب تناثر الضوء باتجاهات مختلفة وإلى خارج الغطاء أيضاً .

٣ . **فقد انتشار النبضة** Pulse Spreading Loss : يحدث هذا الفقد بسبب الفارق الزمني في انتشار أشعة الضوء التي تسير في مسارات مختلفة .

٤ . **فقد تناثر اللون أو تناثر طول الموجة** : يحدث بسبب اختلاف أطوال موجات الضوء التي يشعها الثنائي الضوئي LED عند مدخل الليف ؛ مما يؤثر على سرعة هذه الموجات وزمن وصولها ، وبالتالي إلى تشوهها .

٥ . **فقد الإشعاع** Radiation Loss : يحدث هذا الفقد بسبب الانحناءات الصغيرة والالتواءات في الليف .

٦ . **فقد المزاوجة** Coupling Loss : يمكن لهذا الفقد أن يحدث عند الوصلات الآتية :

- وصلة مصدر الضوء بالليف البصري في جهة الإرسال .
- وصلة الليف البصري بالآخر .
- وصلة الليف البصري بكاشف الضوء في جهة الاستقبال .

## أنواع الألياف البصرية

يوجد العديد من أنواع الألياف البصرية بحسب المعيار المستخدم للمقارنة ، وبشكلٍ عام توجد ثلاثة أنواع رئيسة من الألياف البصرية ، هي :

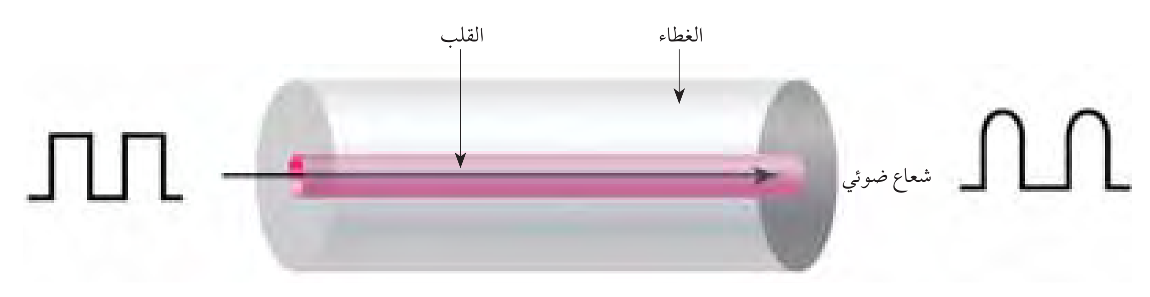
١ . الليف ذوالنمط المفرد ومعامل الانكسار الخطوي Single Mode Step-Index Fiber

٢ . الليف ذو النمط المتعدد ومعامل الانكسار الخطوي Multimode Step-Index Fiber

٣ . الليف ذو النمط المتعدد ومعامل الانكسار المتدرج Multimode Graded Index Fiber

### الليف ذوالنمط الوحيد ومعامل الانكسار الخطوي

سمي بهذا الاسم ؛ لأن هناك مساراً واحداً للضوء على طول الكابل كما هو مبين في الشكل (31) وتكون الأشعة الضوئية متوازية أثناء انتقالها من بداية الليف البصري إلى نهايته .




شكل (٣١) : مسار الضوء في الليف البصري ذي النمط الوحيد ومعامل الانكسار الخطوي

كما يتضح من الشكل (31) يوجد لهذا الليف قلب Core ذو قطر صغير جداً ( 0.05 إلى 0.1 من قطر الغطاء ) ، ويكون معامل انكسار مادة القلب أكبر من معامل انكسار مادة الغطاء ، وتكون كل منهما ثابتة .

**أهم مزايا هذا النوع :**

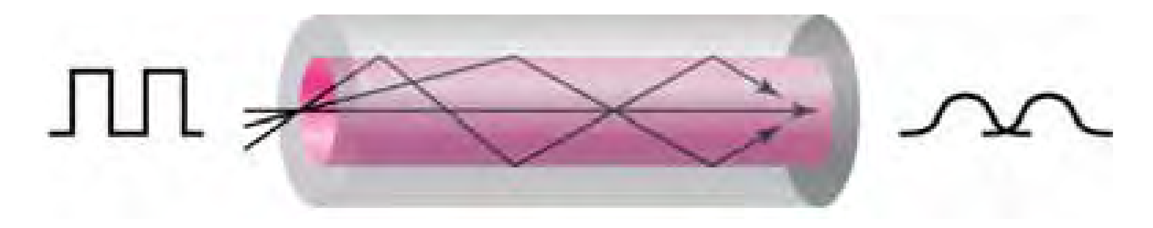
- لايحدث تشوهات للإشارة الضوئية المنقولة ؛ لأن كل الأشعة المنتشرة على طول الليف تمر في المسار نفسه وتستغرق نفس الزمن للوصول .
- اتساع المجال الترددي وبالتالي ازدياد السرعة في إرسال المعلومات .

ومن المفيد معرفة أن شركة الاتصالات الفلسطينية تستخدم هذا النوع من الألياف .

**أما أهم العيوب فهي :**

- تكلفة إنتاج هذا النوع عالية لصعوبة الإنتاج .
- صعوبة ربط مصدر الضوء إلى هذا الليف بسبب القطر الصغير جداً للقلب .
- يجب استخدام مصدر ضوئي عالي التوجيه كالليزر ( Laser ) لإدخال الضوء في الليف .

## الليف ذو النمط المتعدد ومعامل الانكسار الخطوي



شكل (٣٢) : مسار الشعاع في الليف البصري ذي النمط المتعدد ومعامل الانكسار الخطوي

وقد سمي بهذا الاسم ؛ لأن هناك أكثر من مسار للضوء على طول الليف البصري كما في الشكل (32) .

كما يتضح من الشكل (32) فإن قطر القلب يبلغ ( 0.4 تقريباً ) من قطر الغطاء ، ويكون معامل انكسار مادة القلب أكبر من معامل انكسار مادة الغطاء مع ثبات قيمة كل منهما .

**أهم مزايا هذا النوع :**

- سهولة الإنتاج ، وبالتالي فإن تكلفته غير مرتفعة .
- سهولة إدخال وإخراج الضوء من هذا الليف ؛ لأن فتحته إلى مصدر الضوء كبيرة .

ومن المفيد معرفة أن هذا النوع مفضلٌ للاستخدام في شبكات الحاسوب والشبكات الداخلية .

**أما أهم العيوب فهي :**

- يحدث تشويه للإشارات الضوئية المنقولة ؛ إذ يؤدي تعدد المسارات إلى حدوث فوارق كبيرة في أزمنة انتشارها ووصولها .
- عرض النطاق الترددي وبالتالي سرعة إرسال المعلومات أقل مما هومتوفر في الأنواع الأخرى من الألياف .

### الليف ذو النمط المتعدد ومعامل الانكسار المتدرج

في هذا النوع يوجد أكثر من مسار للضوء، ولكن مادة الليف تصنع بكثافة متغيرة، وبالتالي معامل انكسار غير ثابت يتدرّج من قيمة كبيرة عند المركز إلى قيمة أصغر عند حافة الغطاء ، ويؤدي ذلك إلى انحناء مسار الضوء باستمرار ، كما هو مبين في الشكل (33) .

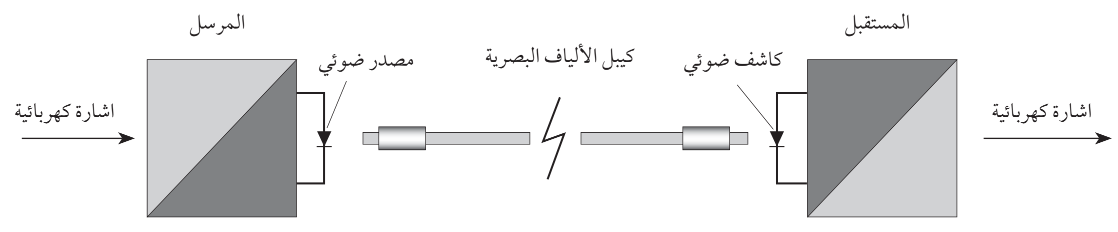


الشكل (٣٣) : مسار الشعاع الضوئي في الليف ذي النمط المتعدد ومعامل الانكسار المتدرج

كما يتضح من الشكل (33) فإن قطر القلب يبلغ ( 0.4 تقريباً ) من قطر الغطاء، ولا يوجد لهذا النوع مزايا أو عيوب خاصة به حيث يعدّ هذا الليف وسطاً بين النوعين السابقين .

## نظام الاتصال البصري Optical Communication System

يتكون نظام الاتصال البصري، كما هو مبين في الشكل (34) من ثلاثة أجزاء رئيسة، هي :




شكل (٣٤) : نظام الاتصال البصري

### ١. المرسل البصري (الضوئي) Optical Transmitter

يكون الجزء الأساسي به هو المصدر الضوئي الذي يحول الإشارة الكهربائية المدخلة (إشارة المعلومات) الىإشارة ضوئية . وتعدّ الثنائيات والترانزستورات المشعة للضوء بالإضافة إلى الليزر أهم هذه المصادر .

لإرسال إشارات تلفازية أو هاتفية (مثلاً) لا بد من تضمين هذه الإشارات قبل نقلها . حيث يتم تضمين الإشارة الضوئية بوساطة إشارة المعلومات التماثلية أو الرقمية .

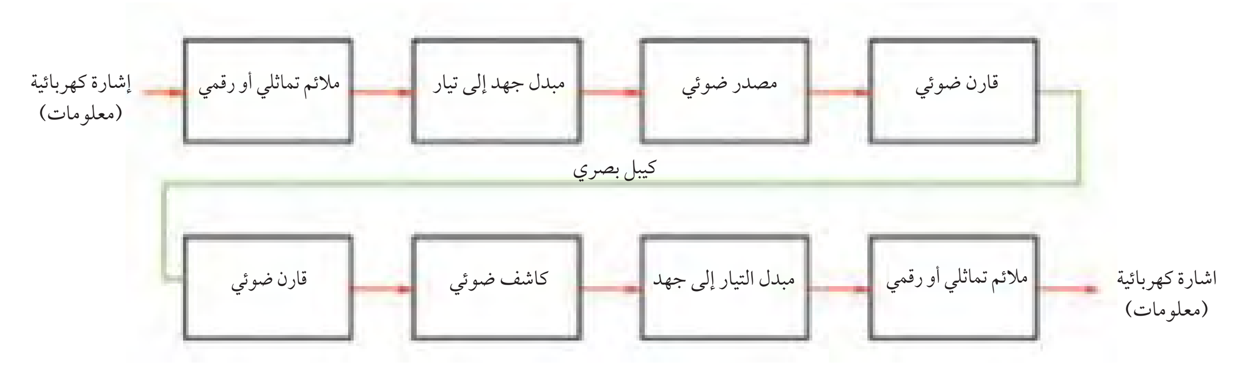
٢. الليف البصري The Fiber – Optic

هو الذي يقوم بتوصيل الإشارة الضوئية من المرسل إلى المستقبل . ويشمل الأنواع التي درستها سابقاً .

٣. المستقبل البصري Optical Receiver

هو الجزء الذي يستقبل الإشارة الضوئية ، ويقوم بكشفها وتحويلها إلى إشارة كهربائية ترسل إلى المستخدم لتظهر على شاشة التلفاز أو جهاز الهاتف (مثلاً) .

ولدراسة نظام الاتصال البصري بمزيدٍ من التفصيل انظر الشكل (35) الذي يبين مكونات كلٍّ من المرسل والمستقبل البصريين .




شكل (٣٥) : مكونات المرسل والمستقبل البصريين

**المرسل البصري ويتكون من :**

- ملائم ( تماثلي – رقمي ) : يستخدم لضبط النظام لاستقبال نوعية محدّدة من الإشارات (تماثلية أو رقمية) وليس الاثنتان معاً .
- مبدل جهد لتيّار : يقوم بتحويل جهد الإشارات الداخلة إلى تيّار مكافئ ومناسب لتشغيل مصدر الضوء .
- مصدر ضوئي : وهو عادةً أحد النوعين الآتيين :

١ . ثنائي مشع للضوء LED.　　　٢ . ثنائي ليزر حقني ILD.

- قارن ضوئي : وهو أداة ميكانيكية لربط المصدر الضوئي بالليف البصري وإيصال الضوء .

**المستقبل البصري ويتكون من :**

- قارن ضوئي .
- كاشف ضوئي : وهو عادةً أحد الأنواع الآتية :

١ . ثنائي ضوئي Photo Diode.

٢ . ثنائي (P-I-N) الضوئي .

٣ . ثنائي APD الضوئي .

ILD Injection Lazer Diode
PIN Positive- Intrinsic- Negative
APD Avalanche Photo Diode

إن جميع الثنائيات أعلاه تحول الضوء إلى تيار ، لذا لا بد من وجود مبدل تيار إلى جهد .

- مبدل التيار إلى جهد : يحوّل تغيّرات تيار الكاشف إلى تغيرات في جهد إشارة المخرج .
- ملائم (تماثلي – رقمي) : يستخدم لضبط الإشارات الخارجة من النظام البصري (تماثلية أو رقمية)، ويجب أن يكون متوافقاً في الضبط مع الملائم ال ( تماثلي- رقمي ) في وحدة الإرسال .

## الأسئـــلة

س١ : بيّن بالرسم الثوابت التي تحتويها وحدة طول من خط النقل .

س٢ : وضّح العوامل التي تعتمدعليها قيم ثوابت خط النقل .

س٣ : اذكر أنواع المفاقيد Losses في خط النقل .

س٤ : قارن بين الخط ذي السلكين المتوازيين الشريطي وخط النقل ذي السلكين المحميين من حيث :

- التركيب .
- الممانعة المميزة .
- الاستخدام .

س٥ : عدّد أهم مزايا وعيوب الخطوط السلكية الثنائية .

س٦ : عرّف الآتية :

- الممانعة المميزة $Z_0$.
- مواءمة الممانعات .
- الموجات المستقرة .
- معامل الارتداد $K_R$.

س٧ : استخدم خط نقل ذي ممانعة مميزة تساوي ($Z_0 = 50\ \Omega$) لإيصال الطاقة إلى حمل مقداره ($Z_L$=50 Ω) .

المطلوب :

- احسب قيمة معامل الموجة المستقرة VSWR للخط المستخدم .
- احسب قيمة معامل الارتداد $K_R$ لنفس الخط .
- علّق على كفاءة خط النقل بحسب قيم VSWR و $K_R$ المحسوبتين أعلاه .

س٨ : أعد حل مثال (4) باستخدام صيغة أخرى لحساب VSWR.

س٩ : ما هي المكونات الرئيسة للكيبل المحوري ؟

س١٠ : عدّد أهم الاستخدامات العملية للكوابل المحورية .

س١١ : أذكر أربعاً من أهم مزايا استخدام الألياف البصرية في أنظمة الإتصال .

س١٢ : وضّح مستعيناً بالرسم تركيب الألياف البصرية .

س١٣ : ما المقصود بالآتية :

- ▫ الزاوية الحرجة . ▫ فقد الامتصاص .
- ▫ فقد انتشار النبضة . ▫ القارن الضوئي في المرسل البصري .

س١٤ : لماذا سمي الليف ذو النمط الوحيد وعامل الانكسار الخطوي بهذا الاسم؟ وضّح إجابتك بالرسم .

س١٥ : اذكر أهم مزايا وعيوب الليف ذي النمط المتعدد وعامل الانكسار الخطوي .

س١٦ : أرسم مخططاً صندوقياً يبين مكونات المرسل والمستقبل البصريين .

س١٧ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

١ . تنتج مفاقيد الإشعاع نتيجةً لإشعاع جزء من المجال المغناطيسي حول الموصل إلى محيطه .

٢ . يستفاد من معرفة معامل الموجة المستقرة VSWR في قياس كفاءة نقل الطاقة عبر خط النقل .

٣ . تعرّف ظاهرة تأثير السطح بأنها ميل الشحنات الكهربائية ذات الترددات المنخفضة إلى السريان على السطح الخارجي للموصل .

٤ . من مزايا الألياف البصرية مناعتها التامة ضد التداخلات الكهرومغناطيسية .

٥ . لكي يحدث انعكاس للضوء داخل الليف البصري، لا بد من إرسال الضوء بزاوية تساوي الزاوية الحرجة .

س١٨ : اختر الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الآتية :

١ . إن وظيفة خط النقل في نظام الاتصال هي :

أ . نقل الإشارات من المستقبل إلى المرسل .

ب . نقل الإشارات بأكبر قدر ممكن من الضياع في الطاقة .

جـ . نقل الإشارات من المرسل إلى المستقبل بأقل قدر من الضياع في الطاقة .

د . لا شيء مما ذكر .

٢ . يستخدم خط الزوج المجدول :

أ . عند العمل في بيئة غير مشوشة . ب . لنقل إشارات التلفاز بشكل خاص .

جـ . للربط بسبب متانته . د . عند العمل في بيئة مشوشة .

٣ . الهدف من تحقيق المواءمة في الممانعة بين دارتين كهربائيتين هو :

أ . ضمان انتقال أكبر قدر من الطاقة بينهما . ب . ضمان الحصول على أكبر توهين ممكن .

جـ . ضمان انعدام التشويش في الدارتين . د . جميع ما ذكر صحيح .

٤ . في حال عدم وجود مواءمة في الممانعة بين دارتين كهربائيتين تحدث ظاهرة :

أ. الموجات المرسلة . ب. الموجات المرتدة .

جـ. الموجات المستقرة . د. الموجات السماوية .

٥ . في خط النقل ، وعندما يكون الحمل مقصوراً ، يحدث :

أ. لا شيء . ب. انتقال كامل للموجات على طول خط النقل .

جـ. ازدياد للفولتية في نهاية خط النقل . د. ارتداد كامل للموجات على طول خط النقل .

٦ . في خط النقل ، عندما تكون VSWR > 2 يدل ذلك على :

أ. انخفاض كفاءة النقل . ب. كفاءة كبيرة في نقل الطاقة .

جـ. خط نقل مثالي . د. لا شيء مما ذكر .

٧ . تستخدم الكوابل المحورية ذات الممانعة المميزة (75 Ω) في :

أ. التراسل بين المقاسم . ب. لنقل الإشارات التلفازية من الهوائي للتلفاز .

جـ. الخطوط الهاتفية . د. جميع ما ذكر صحيح .

٨ . من عيوب الكوابل المحورية :

أ. مرتفعة الثمن جداً . ب. لا تتأثر أو تتداخل بالموجات الكهرومغناطيسية .

جـ. صعوبة التركيب . د. ذات فقد عالٍ نسبياً عند ازدياد التردد .

٩ . من عيوب استخدام الألياف البصرية في أنظمة الاتصال :

أ. ثقيلة الوزن وسميكة . ب. سعتها منخفضة .

جـ. تتأثر بالتداخلات المغناطيسية . د. الكلفة الابتدائية عالية عند تركيب النظام البصري .

١٠ . يعتمد انتشار الضوء عبر الألياف البصرية على :

أ. ارتداد الشعاع الضوئي . ب. الانعكاس الكلي الداخلي للشعاع الضوئي .

جـ. انكسار الشعاع الضوئي . د. الانعكاس الجزئي للشعاع الضوئي .

١١ . إن الوظيفة الرئيسة للكاشف الضوئي في المستقبل البصري هي :

أ. تحويل التيار إلى ضوء . ب. ربط المصدر الضوئي بالليف البصري .

جـ. تحويل الضوء إلى تيار . د. تحويل التغيرات في التيار إلى تغيرات في الجهد .

الوحـــــدة

٤

# أنظمة الميكروويف والاقمار الصناعية



# أنظمة الميكروويف والأقمارالصناعية

احتلت أنظمة اتصال الميكروويف موقعاً مهماً في أنظمة الاتصال بعيدة المدى Telecommunications نظراً للإمكانات الهائلة التي وفرتها في نقل المعلومات والإشارات التلفازية والاتصالات الهاتفية من خلال ربط الأماكن البعيدة والمناطق الجبلية الوعرة والشاسعة التي يصعب مد الكوابل فيها وتدعيم آلية نقل الإشارات التلفازية من استوديوهات التلفاز إلى نقاط التغذية الرئيسية للأقمار الصناعية او من وحدات جمع الأخبار .

وقد أدى ظهور الأقمار الصناعية ، (والتي يمكن اعتبارها محطات معيدة ضمن نظام اتصال ميكروويف بعيد المدى ) إلى تسهيل عمليات الاتصال ورفع كفاءتها ونقل المعلومات المسموعة والمرئية بالإضافة إلى ربط مختلف أنحاء المعمورة بعضها ببعض .

## أهداف الوحدة

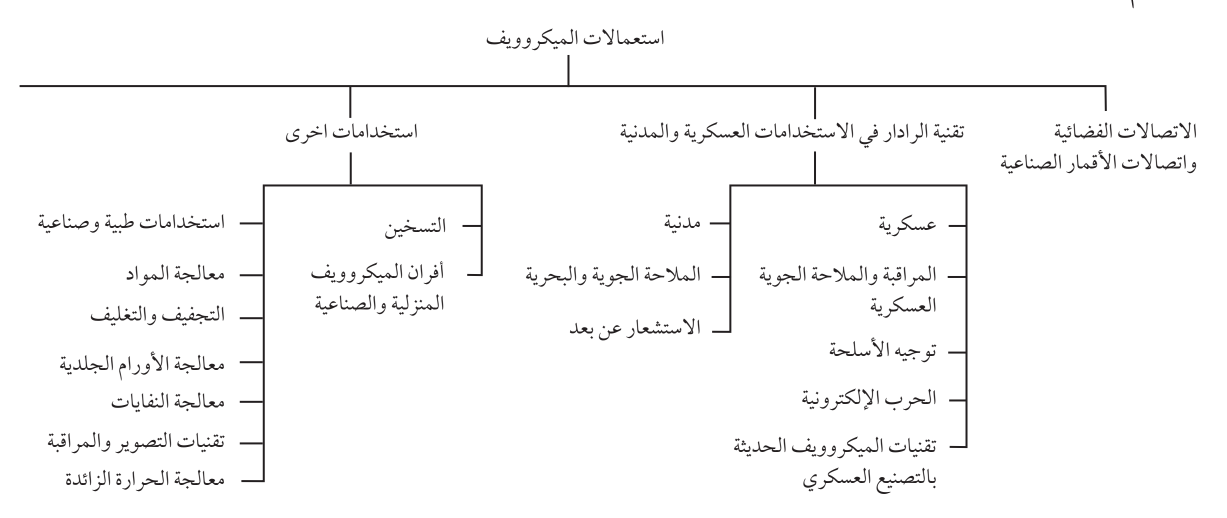
بعد دراستك هذه الوحدة ، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن :

- تتعرف على استعمالات ومزايا الميكروويف .
- تشرح مكونات أنظمة ارسال واستقبال الميكروويف .
- تتعرف على وظائف أجهزة ومعدات الميكروويف .
- تتعرف على استخدامات وأنواع الأقمار الصناعية .
- تتعرف على وظائف ومكونات المحطات الأرضية والأقمار الصناعية .

## أنظمة الميكروويف

يطلق على نطاق الترددات الراديوية الواقعة بين (300GHz-1GHz) بنطاق ترددات الميكروويف، وتسمى الأنظمة التي تستخدم هذه الترددات أنظمة الميكروويف.

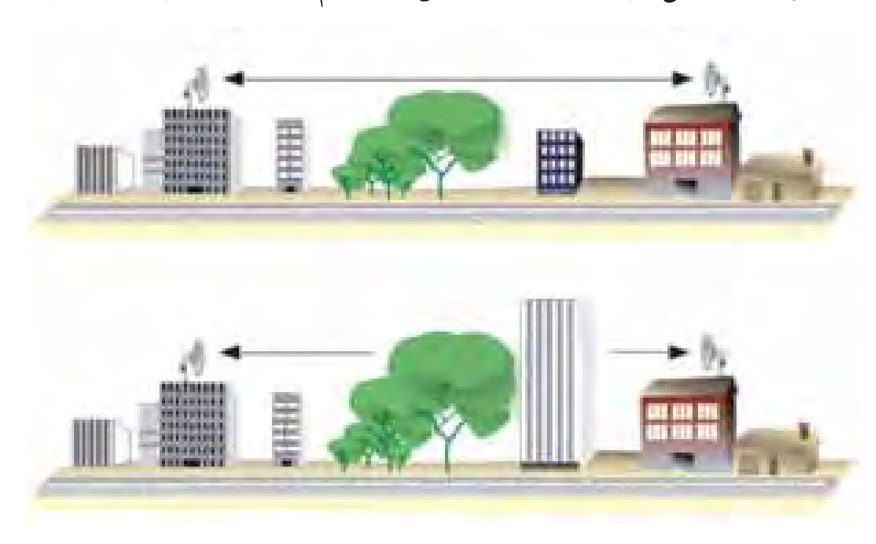
ولأنظمة الميكروويف استعمالات عديدة في مختلف المجالات المدنية والعسكرية والطبية، ويبين شكل (1) أهم هذه الاستعمالات.




شكل (١): مخطط يبين أهم استعمالات الميكروويف

## نظام اتصالات الميكروويف

يعرف نظام اتصال الميكروويف بأنه نظام اتصال لاسلكي يستخدم نطاق ترددات الميكروويف، ويعتمد على وجود خط رؤية بين هوائي المحطة المرسلة وهوائي المحطة المستقبلة شكل (2)، وتستخدم اتصالات الميكروويف لنقل الإشارات الهاتفية بين المقاسم المختلفة والإشارات الإذاعية والتلفازية.



▶ شكل (٢): اتصال خط الرؤية

تتأثر موجات الميكروويف عند انتشارها بالعوامل الجوية (المطر، بخار الماء، الثلج، غاز الأكسجين) حيث يحدث امتصاص أو تشتت لهذه الموجات؛ مما يفقدها جزءاً من طاقتها كما أنها تتعرض إلى التداخل والتشويش من أنظمة الاتصالات الأخرى، وأحيانا من أنظمة الرادار، وقد تتعرض للتنصت، وتصل المسافة المستخدمة بين المحطات اللاسلكية من 10Km إلى 50Km في الاتجاه الواحد، في حين تكون المسافة كبيرة في الاتصالات بين الأقمار الصناعية في الفضاء.

## مزايا وعيوب أنظمة اتصال الميكروويف

توجد عدة مزايا لاستخدام أنظمة الميكروويف، من أهمها:

١. تكلفة قليلة مقارنة مع الأنظمة الأخرى.

٢. سهولة تركيب النظام.

٣. الوثوقية العالية لوجود أنظمة حماية تعمل على تأمين استمرارية الخدمة عند تعطل أحد الأجهزة، أو عند إجراء عمليات الصيانة.

٤. سعة النطاق الترددي الذي يمتد من 1GHz إلى 300GHz.

٥. صغر دارات أنظمة الميكروويف نظراً لقصر طول الموجة أصبح بالإمكان تصميم دارات إرسال وتكبير على لوحة مطبوعة متكاملة.

٦. إمكانية تصميم هوائيات ذات كسب عالٍ.

ومن عيوب أنظمة الميكروويف، ما يأتي:

١. الحاجة لوجود خط رؤية بين المرسل والمستقبل.

٢. الحاجة إلى مواقع خاصة ومحددة لمحطات التقوية.

٣. مشكلة توفير الطاقة الكهربائية العالية اللازمة لتشغيل محطات التقوية.

٤. التأثر بتقلب الظروف الجوية.

## مكونات نظام الميكروويف

يتكون نظام الميكروويف من محطة إرسال ومحطة استقبال بينهما خط رؤية مباشر، وفي حالة عدم توفر خط رؤية مباشر، تستخدم محطة تقوية معيدة، وتوضح الأشكال الآتية المخططات الصندوقية لكل من محطة الإرسال ومحطة الاستقبال لنظام الميكروويف.

## جهاز إرسال ميكروويف (تماثلي)

يوضح شكل (3) المخطط الصندوقي لجهاز إرسال ميكروويف تماثلي والذي يتكون من الأجزاء الآتية :

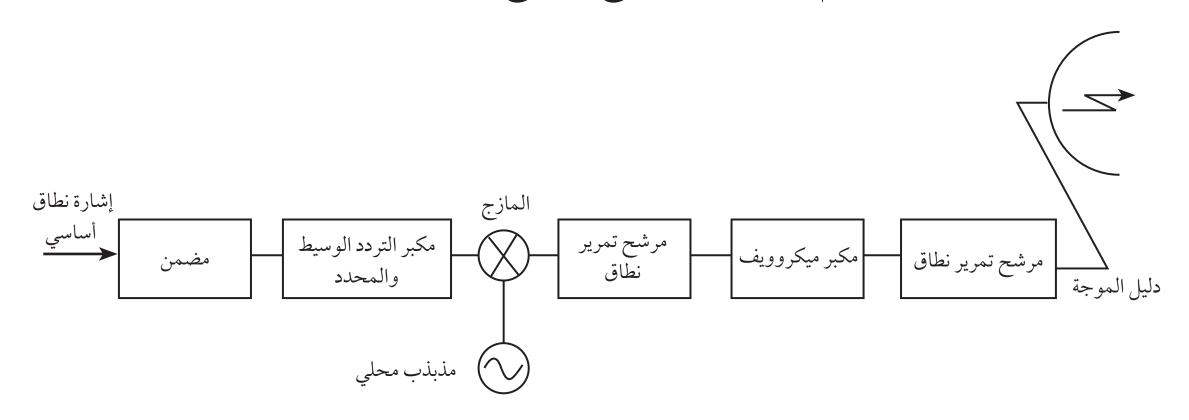
١ . **المضمن** : يقوم بتضمين إشارة النطاق الأساسي على التردد الوسيط 70MHz .

٢ . **مكبر التردد الوسيط والمحدد** : يعمل على إزالة التغيرات الحاصلة على اتساع الإشارة التي تم تضمينها ، كما يعمل على تكبير الإشارة إلى مستوى يناسب مدخل المازج .

٣ . **المازج** : يقوم بمزج إشارة المذبذب المحلي مع الإشارة الخارجة من مكبر التردد الوسيط (إشارة التردد الوسيط) للحصول على إشارة ميكروويف .

٤ . **مرشح تمرير نطاق** : يقوم بتمرير النطاق الترددي المطلوب .

٥ . **مكبر ميكروويف** : يقوم بتكبير إشارة مخرج المرشح إلى المستوى المطلوب .




شكل (٣) : مخطط جهاز إرسال ميكروويف تماثلي

## جهاز استقبال ميكروويف تماثلي

الشكل (4) يبين المخطط الصندوقي لجهاز استقبال ميكروويف تماثلي والذي يتكون من الأجزاء الآتية :

١ . **هوائي الاستقبال** : يعمل على تجميع موجات الميكروويف وتمريرها إلى دليل الموجه .

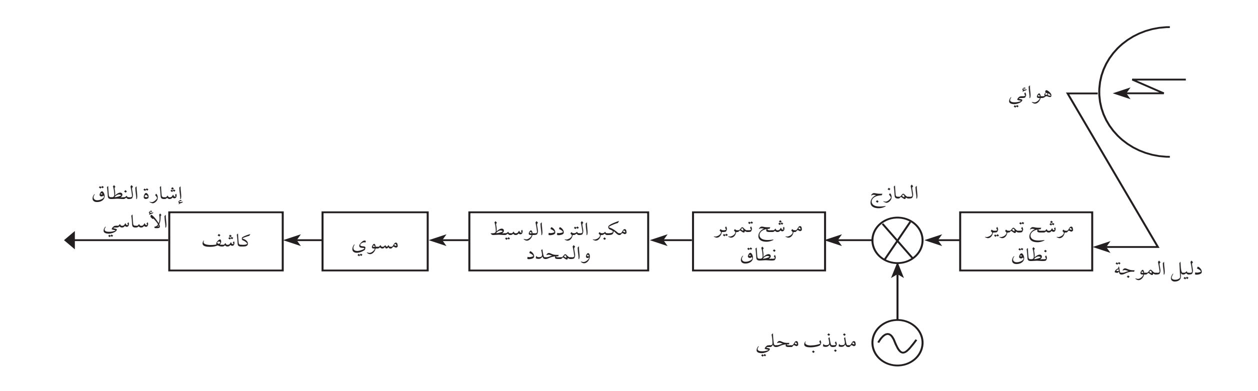
٢ . **مرشح تمرير نطاق** : يقوم بتمرير نطاق الترددات المطلوب وتقليل التشويش .

٣ . **المازج** : يقوم بمزج إشارة المذبذب المحلي مع الإشارة الخارجة من المرشح للحصول على إشارة التردد الوسيط .

٤ . **مكبر التردد الوسيط والمحدد** : يعمل على إزالة التغيرات الحاصلة على اتساع إشارة التردد الوسيط للحصول على مستوى ثابت ، كما يعمل على تكبير الإشارة إلى مستوى يناسب مدخل المسوي .

٥ . **المسوي** : يعمل المسوي على إزالة التشويه الحاصل على إشارة التردد الوسيط نتيجة مرورها في المرشحات والدارات السابقة .

٦ . **الكاشف** : يعمل على كشف إشارة التردد الوسيط وتحويلها إلى إشارة النطاق الأساسي .




شكل (٤): مخطط جهاز استقبال ميكروويف تماثلي

**نشـــاط (١):**

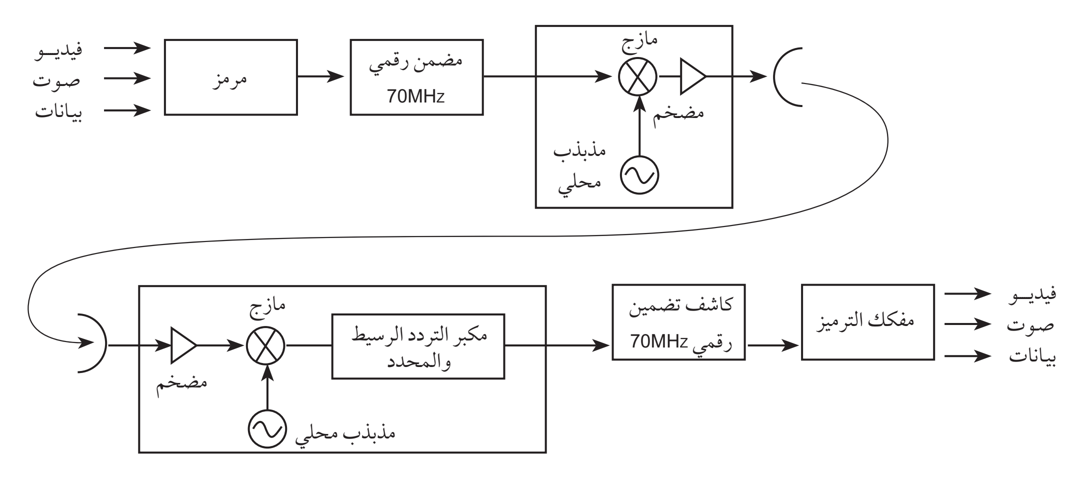
ارسم المخطط الصندوقي لجهاز إرسال وجهاز استقبال ميكروويف تماثلي عند استخدام كيبل محوري بدل دليل الموجة.

## جهاز ارسال وجهاز إستقبال ميكروويف رقمي

يبين الشكل (5) المخطط الصندوقي لنظام إرسال واستقبال ميكروويف رقمي.

في هذا النظام يعمل المضمن الرقمي على تحويل إشارة مخرج المرمز إلى إشارة راديوية مضمنة بتردد وسيط مقداره 70MHz تدخل بعدها إلى المازج للحصول على تردد الميكروويف، ومن ثم يتم تكبيرها وإرسالها إلى هوائي الميكروويف.

أما في جهة الاستقبال فيتم تكبير الاشارة المستقبلة قبل ادخالها إلى المازج للحصول على اشارة التردد الوسيط ومن ثم إلى كاشف تضمين رقمي وأخيراً إلى مفكك الترميز للحصول على الإشارات المرسلة.




شكل (٥): نظام إرسال واستقبال ميكروويف رقمي

## الأجهزة والمعدات المستخدمة في أنظمة الميكروويف

تصنف أجهزة الميكروويف حسب طبيعة عملها إلى مجموعتين :

١ . أدوات فعالة (Active Devices) : مثل الصمامات الفراغية المختلفة ، وعناصر أشباه الموصلات .

٢ . أدوات غير فعالة (Passive Devices) : مثل أدلة الموجة المختلفة والقطع المستخدمة في ربط دلائل الموجه .

### الأدوات الفعالة

تعد الصمامات ومولدات ترددات الميكروويف من أهم الأجهزة المستخدمة في أنظمة الميكروويف ، ومن أهم هذه الأنواع ما يأتي :

١. **الصمام الثلاثي:** يستخدم في توليد ترددات الميكروويف وتكبيرها ، ويبين الشكل (6) أحد أنواع هذه الصمامات المستخدمة في أنظمة البث بين المحطات الأرضية والأقمار الصناعية .

٢. **الكليسترون** (Klystron): يستخدم كمكبر للقدرة وكمذبذب إشارة ميكروويف ، ويعتمد في مبدأ عمله على وجود تجاويف وزيادة عدد هذه التجاويف يعمل على تحسين الكفاءة والقدرة إلى حد كبير . الشكل (7) يبين أحد أنواع الكليسترون .

٣. **الماجنيترون** (Magnetron): هو صمام ثنائي يعمل على توليد موجات ميكروويف (70GHz-2GHz) لها قدرة عالية جداً تزيد عن 1MW ويستخدم في أجهزة الرادار ، وفي أفران الميكروويف . لاحظ الشكل (8) .



شكل (٦) : صمام ثلاثي



شكل (٧) : كليسترون



شكل (٨) : الماجنيترون

٤. **صمام ومكبر الموجة الراحلة** (TWT): يعمل على تكبير موجات الميكروويف ويستخدم في المحطات المعيدة، ويبين شكل (9) تركيب هذا الصمام .

TWT Traveling Wave Tube

٥. **عناصر أشباه الموصلات وداراتها:** تستخدم أشباه الموصلات للقيام بوظائف كثيرة عند تردد موجات الميكروويف، منها التكبير، وتوليد الترددات، وفي دارات الفتح، والإغلاق، ومضاعفة التردد، وغيرها. ومن أهم هذه العناصر: ثنائي الفاراكتور، الثنائي النفقي، مكبرات المقاومة السالبة، ثنائي Gunn.



شكل (٩): صمام ومكبر الموجه الراحلة

## الأدوات غير الفعالة

يقصد بها جميع الوسائل المستخدمة في نقل وتمرير وتوجيه إشارات الميكروويف.

- **أدلة الموجة Waveguides:** عندما برزت الحاجة لنقل الموجات الكهرومغناطيسية بترددات الميكروويف، فإن خطوط النقل التقليدية (الثنائية والمحورية) لم تكن مناسبة بسبب التوهين العالي الذي تسببه للإشارات المنقولة عند ترددات الميكروويف.

إن أدلة الموجة هي أفضل وسيط لنقل الموجات الكهرومغناطيسية عند الترددات التي تزيد عن 1 جيجاهيرتز.

تعرّف أدلة الموجة بأنها: أنابيب معدنية جيدة التوصيل للكهرباء ومصقولة من الداخل لتعمل على عكس الموجات بداخلها وصولاً إلى نهاية الدليل. يبين الشكل (10) أشكالاً متنوعة من أدلة الموجة.

**الإستخدامات:** تستخدم أدلة الموجة في التطبيقات التي تعمل بترددات الميكروويف، مثل:

١. تراسل الميكروويف حيث تعدّ أدلة الموجة من المكونات الأساسية لهذه الأنظمة، ويتم استخدامها لنقل الموجات الكهرومغناطيسية من وإلى الهوائيات المثبتة فوق أبراج الميكروويف. انظر الشكل (11).

٢. الكثير من أنظمة الرادار العسكرية والمدنية.

٣. في بعض التطبيقات الصناعية الخاصة.

٤. في الأجهزة الطبية التي تستخدم ترددات الميكروويف.



شكل (١٠): أشكال متنوعة لأدلة الموجة



شكل (١١): استخدام أدلة الموجة على أبراج الميكروويف

**مزايا وعيوب أدلة الموجة :**

بشكلٍ عام، يمكن تلخيص أهم مزايا أدلة الموجة بالآتي :

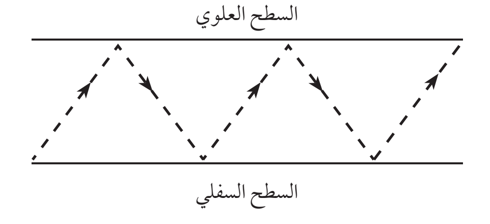
- سهولة التصنيع مقارنةً بخطوط النقل الأخرى .
- قلة المفاقيد Losses مقارنةً بخطوط النقل الثنائية والمحورية .
- لا تتأثر بالتداخلات الكهرومغناطيسية المحيطة ؛ لأن دليل الموجة يعمل كمرشح تمرير عالٍ .
- قدرتها على نقل الموجات الكهرومغناطيسية بطاقة عالية أكبر من قدرة خطوط النقل الأخرى .

**أما العيوب فأهمها :**

- صعوبة تركيبها لصلابتها، وحاجتها إلى أدوات خاصة للربط عند نقاط الوصل Special Coupling .
- ذات كلفة عالية مقارنةً بالكوابل .
- غير مناسبة إلاّ لنقل إشارات الميكروويف .

**أهم الخصائص الكهربائية لأدلة الموجة :**

١ . عندما يتم إشعاع الموجات داخل الدليل فإنها تنعكس بداخله بشكلٍ مستمر وصولاً إلى نهاية الدليل كما يتضح من الشكل (12) .




شكل (١٢): انعكاس الأمواج داخل دليل الموجة

٢ . يعتمد تصميم دليل الموجة على التردد ومقدار الطاقة الكهرومغناطيسية للإشارات التي سوف يحملها .

٣ . يوجد لكل دليل موجة تردد قطع (Cut-Off Frequency) يعتمد في قيمته على أبعاد مقطع دليل الموجة ، ويعرّف تردد القطع لدليل الموجة بأنه : أقل تردد يمكن أن يمر عبر الدليل ، بحيث لا يمكن إرسال إشارات ترددها أقل من تردد القطع لهذا الدليل .

٤ . تعتمد قيمة الممانعة المميزة $Z_0$ لدليل الموجة على تردد الإشارات المنقولة (المستخدمة) خلافاً للأنواع الأخرى من خطوط النقل ، والتي تبقى ممانعتها المميزة ثابتة .

٥ . يشبه دليل الموجة في تركيبه الكيبل المحوري غير أنه لا يحتوي على موصل داخلي . ويسري التيار على السطح الخارجي لدليل الموجة الذي تزيد مساحته كثيراً عن سطح الموصل الداخلي للكيبل المحوري ؛ مما يمكن من التغلب على ظاهرة تأثير السطح (Skin Effect) .

(تعرّف ظاهرة تأثير السطح بأنها : ميل الشحنات الكهربائية ذات الترددات العالية إلى السريان على السطح الخارجي للموصل فقط ، بسبب زيادة المقاومة الفعّالة للموصل عند ازدياد تردد الإشارة المارة فيه) .

**أشكال أدلة الموجة Waveguides Shapes**

يوجد أشكال متعددة لأدلة الموجة بحسب مقطع الدليل، وأهم هذه الأشكال هي :

دليل الموجة المستطيل، دليل الموجة الدائري، دليل الموجة البيضاوي .

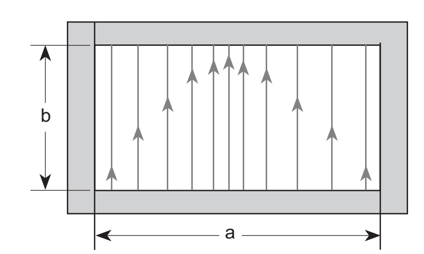
١ . دليل الموجة المستطيل ( Rectangular Waveguide ) ويعدّ أكثر أنواع أدلة الموجة شيوعاً، وهو عبارة عن أنبوب معدني جيد التوصيل للكهرباء ذي مقطع مستطيل . انظر الشكل (13) .





شكل (١٣): دليل الموجة المستطيل

يتوزع المجال الكهربائي داخل الدليل بحيث يكون عمودياً على السطحين العلوي والسفلي ، وتتركز شدة المجال في منتصف الدليل كما يتضح من الشكل (14) .




شكل (١٤): توزيع المجال الكهربائي في دليل الموجة المستطيل

يمكن حساب تردد القطع لدليل الموجة المستطيل من العلاقة الآتية :

$$f_c = \frac{C}{2a}$$

حيث : $f_c$ : تردد القطع لدليل الموجة المستطيل .

C : سرعة الضوء البالغة ($3 \times 10^8$) متر/ ثانية .

a : طول مقطع الدليل (انظر الشكل 14) .

**مثال (١):** يراد إرسال موجة ميكروويف ترددها (3.3) جيجا هيرتز بوساطة دليل موجة مستطيل .

احسب طول مقطع الدليل المناسب لإرسال الموجة أعلاه .

**الحل:**

$$f_c = \frac{C}{2a} \longrightarrow a = \frac{C}{2f_c}$$

$$a = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 3.3 \times 10^9} = \frac{0.3}{6.6} = 0.045 \text{ m}$$

$a = 4.5$ cm (طول مقطع الدليل)

ومن المفيد معرفة أن عرض مقطع الدليل المستطيل (b) يساوي نصف طول مقطع الدليل(a) كما هو مبين في الشكل (14)، أي إن :

$$a = 2b \longrightarrow b = \frac{1}{2} a$$

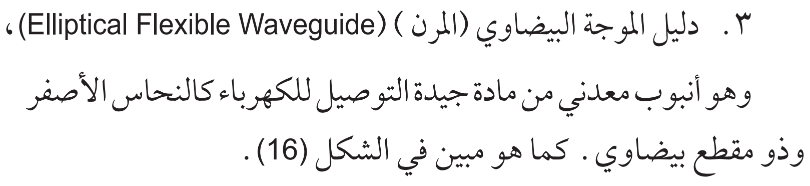
٢ . دليل الموجة الدائري Circular Waveguide

وهو أيضاً أنبوب معدني جيد التوصيل للكهرباء إلاّ أن شكل مقطعه دائري . انظر الشكل (15) .

يستخدم الدليل الدائري في مناطق محددة من أنظمة الرادار وأنظمة اتصالات الميكروويف، مثل الوصلات الدوارة التي تصل بين دليل الموجة الرئيس وبين الهوائيات المتحركة .

شكل (١٥) : دليل الموجة الدائري

يمتاز هذا النوع من أدلة الموجة بسهولة التصنيع وبقلة توهينه للإشارات المنقولة، وأما أهم العيوب التي يعاني منها مقارنةً بالدليل المستطيل فهي حاجته إلى مساحة مقطع أكبر من تلك التي يحتاجها الدليل المستطيل لتوصيل نفس الإشارة .



٣ . دليل الموجة البيضاوي (المرن ) (Elliptical Flexible Waveguide)،

وهو أنبوب معدني من مادة جيدة التوصيل للكهرباء كالنحاس الأصفر وذو مقطع بيضاوي . كما هو مبين في الشكل (16) .

وكما يظهر من الشكل (16) يمتاز هذا النوع بوجود غلاف خارجي من مادة بلاستيكية عازلة لحمايته من المؤثرات البيئية المحيطة كالحرارة والرطوبة وغيرها ، كما يطلى سطحه الداخلي بمادة الكروميوم .



شكل (١٦) : دليل الموجة المرن

يمتاز هذا النوع بمرونته Flexible وقابليته للثني ، مما يجعله مناسباً للعديد من الاستخدامات والتطبيقات العملية .

أما أهم عيوبه فهو : توهينه العالي للإشارات المنقولة؛ لأن سطحه الداخلي ليس ناعماً تماماً، لذا فهو مستخدم فقط في مقاطع صغيرة عندما لا يتوفر بديل عن استخدامه .

**طرق الإدخال والإخراج من دليل الموجة Waveguide Input/Output Methods**

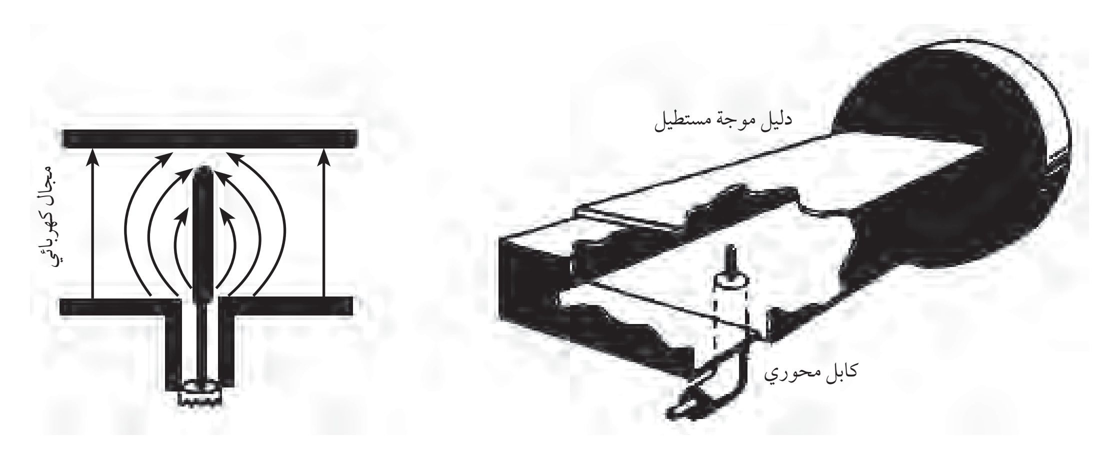
تعمل أدلة الموجة بطريقة مختلفة عن خطوط النقل العادية ، لذا لابد من توفر أدوات لإدخال الطاقة في الدليل، ومن ثم إزالتها في الطرف الآخر حيث تعمل هذه الأدوات على إشعاع الطاقة وإرسالها عبر الدليل، ومن ثم استقبالها عند نهاية الدليل ، وأهم الأدوات المستخدمة لتحقيق هذه الغاية :

- مجس Probe ( الموصل الداخلي لكابل محوري ) .

- حلقة Loop .
- نافذة (فتحة) (Window Slot Or Aperature) .

وبحسب الأداة المستخدمة ، يمكن تصنيف الطرق الآتية في الإدخال والإخراج :

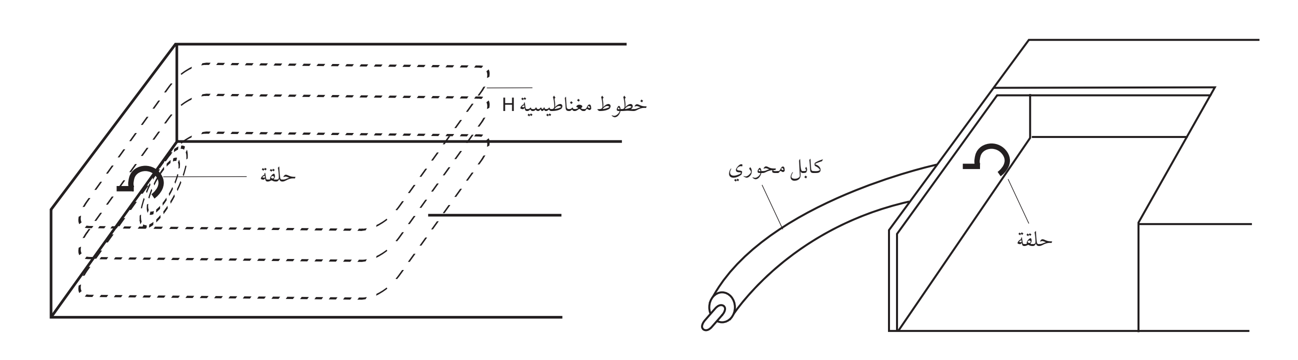
١ . الإدخال والإخراج باستخدام المجس : في هذه الطريقة يتم وضع مجس صغير داخل دليل الموجة يعمل كهوائي عند تزويده بالطاقة ، وعندما يسري التيار (بترددات الميكروويف) في المجس فإنه يقوم بإشعاع الموجات داخل الدليل عند الإرسال وبالتقاطها عند الاستقبال . انظر الشكل (17) .




شكل (١٧) : الإدخال والإخراج باستخدام المجس

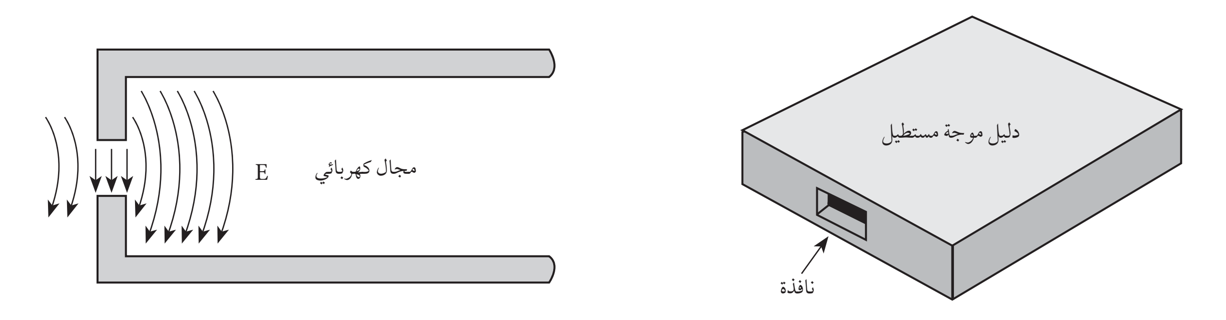
٢ . الإدخال والإخراج باستخدام حلقة Loop: وفي هذه الطريقة يتم وضع حلقة تحمل تيّاراً عالياً وتعمل على توليد مجال مغناطيسي H . انظر الشكل (18) .

وإذا كان تردد التيار المار في الحلقة ضمن عرض النطاق الترددي لدليل الموجة ، عندها يحصل انتقال للطاقة إلى دليل الموجة .




شكل (١٨) : الإدخال والإخراج باستخدام الحلقة

٣. الإدخال والإخراج باستخدام نافذة (فتحة أو ثقب): في هذه الطريقة يتم إدخال الطاقة من خلال فتحة صغيرة في دليل الموجة ينتشر من خلالها المجال الكهربائي إلى دليل الموجة. انظر الشكل (19).




شكل (١٩): الإدخال والإخراج باستخدام نافذة

تستخدم هذه الطريقة عند الرغبة في التحكم بمستوى الطاقة الداخلة لدليل الموجة (نقل كمية محدودة من الطاقة الكهرومغناطيسية).

- **الأكواع Bends**: تستخدم الأكواع لوصل دليلي موجة في حال وجود زوايا في مسار دليل الموجة، كما هو موضح بشكل (20).

- **وصلات ربط دليل الموجة مع كيبل محوري**: تستخدم لوصل دليل موجة مع كابل محوري لتبادل إشارات الميكروويف بينها. لاحظ الشكل (21).



شكل (٢٠): أكواع



شكل (٢١): وصلات ربط الموجة مع كيبل محوري

- **تحويلة الربط بين الأشكال المختلفة من دلائل الموجة**: تستخدم لهذه الغاية إحدى التحويلات (adapters) المناسبة.

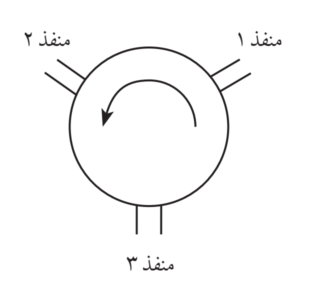
- **الرابط الاتجاهي Directional Coupler**: يستخدم لأخذ عينة من إشارة الميكروويف التي تسير في اتجاه معين لأغراض القياس دون التأثير على مستوى تلك الإشارة في ذلك الاتجاه، ويبين الشكل (22) احد أنواع الروابط الاتجاهية.

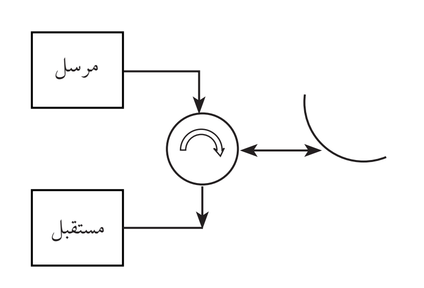
- **العازل Isolator**: يسمح بمرور إشارات الميكروويف في اتجاه واحد ويقوم بتوهين الإشارة في الاتجاه المعاكس، ويبين شكل (23) أحد الأنواع المستخدمة.


شكل (٢٢): ربط اتجاهي


شكل (٢٣): عازل

- **المدور Circulator**: يستخدم لتمرير الإشارة القادمة من أي منفذ (port) إلى المنفذ الذي يليه مباشرة في اتجاه دائري كما هو مبين بشكل (24)، ويمكن استخدامه لربط جهاز الإرسال والاستقبال عن طريق دليل الموجة مع الهوائي، ويعمل على حماية أجهزة الاستقبال من إشارات الميكروويف المرسلة عالية القدرة عند البث، لاحظ الشكل (24).




شكل (٢٤): المدور

- **قطعة إنهاء دليل الموجة Terminator**: تستخدم لإنهاء أحد أطراف دليل الموجة أو المدورات أو الروابط الاتجاهية بحيث تمنع تسرب إشارة الميكروويف ويبين شكل (25) بعض أنواع قطعة إنهاء دليل الموجة.





شكل (٢٥): قطعة إنهاء دليل الموجة

- **الموهنات Attenuator**: تستخدم الموهنات لأغراض القياسات أو التحكم في مستوى الإشارات المطلوب تمريرها، وتعتمد في عملها على وجود حاجز رقيق متحرك يعترض مسار إشارة للميكروويف، مما يؤدي إلى توهينها، يوضح شكل (26) بعض أنواع الموهنات.



شكل (٢٦): الموهنات

- **المرشحات Filters**: تستخدم لتمرير نطاق معين من ترددات الميكروويف، ويبين شكل (27) أحد أنواع مرشحات الميكروويف.


شكل (٢٧): مرشح

**الأمور الواجب مراعاتها عند تصميم شبكات اتصال الميكروويف:**

١. طبيعة الموقع الجغرافي للمحطة.
٢. قدرة جهاز الإرسال.
٣. ارتفاع محطات الإرسال والاستقبال.
٤. عدد القنوات المتاحة لنقل البيانات المختلفة.
٥. مستوى التشويه بأنواعه على الإشارة المستقبلة.
٦. الترددات المستخدمة وسرعة نقل البيانات حيث كلما زاد التردد قلت المسافة والعكس صحيح بين النقطتين فمثلا تكون قيمة التردد صغيرة في خط الميكروويف بين الخليل وغزة بينما تكون قيمة التردد عالية بخط الميكروويف بين رام الله وبلدة سلواد).
٧. المسافة بين نقطي الإرسال والاستقبال.

## انظمة الأقمار الصناعية


شكل (٢٨): قمر صناعي تل ستار (Telstar)

تقدم الأقمار الصناعية خدمة مكملة لأنظمة خطوط النقل، مثل الكوابل النحاسية والألياف البصرية كما تقدم خدمات الاتصال إلى السفن والطائرات والمركبات الفضائية، وقد مرت الأقمار الصناعية بمراحل كثيرة حتى وصلت إلى ماهي عليه اليوم، وفيما يأتي لمحة تاريخية لمراحل تطورها:

- عام ١٩٥٨ أُطلق أول قمر صناعي، وكان يستخدم شريط مغناطيسي لتخزين المعلومات، ومن ثم إعادة إرسالها لاحقا.


شكل (٢٩): قمر صناعي خاص بنظام اريديوم

- في عام ١٩٦٠ اطلق قمرا اخرا وكان عبارة عن كرة معدنية تستخدم كعاكس للاشارات الكهرومغناطيسية .
- أول قمر صناعي حقيقي كان من إنتاج شركة AT&T وأطلق عام 1962 ووضع في مدار إهليجي حول الأرض يتمه كل ساعتين .

بعد ذلك توالى تطوير أنظمة الأقمار الصناعية وتزايدت أعدادها حتى أصبحت بالمئات .

وتتميز الأقمار الصناعية بما يأتي :

١ . عدم تقيدها بالتضاريس الجغرافية لسطح الأرض .

٢ . اتساع منطقة التغطية .

٣ . عدم تقيدها بالحدود السياسية للدول .

لكنها في المقابل مكلفة في التصنيع والإطلاق و التشغيل ؛ مما ينعكس على ارتفاع الكلفة على المستخدم .

## استخدامات الأقمار الصناعية

- **اقمار الاتصالات** : تستخدم لإعادة تقوية وإرسال القنوات الهاتفية والتلفازية وتحتوي على جهاز محول التردد Transponder ، وهو جهاز يقوم باستقبال القنوات على تردد معين ، ومن ثم تقويتها و إعادة إرسالها إلى الأرض على تردد آخر ، ومن هذه الأقمار عربسات والنيلسات هوت بيرد وتلستار وانتلسات .
- **اقمار الاتصالات المتنقلة** : هي مجموعة من الأقمار تستخدم لتامين خدمة الاتصالات المتنقلة ، مثل أنظمة الهاتف الخليوية إلا أنها تغطي كامل مساحة الكرة الأرضية .
- **أقمار الأرصاد الجوية** : هي أقمار تساعد في التنبؤ بحالة الطقس ومراقبة العواصف و التغيرات المناخية ، وذلك عبر التقاط صور للأرض وطبقات الجو وإرسال هذه الصور إلى الأرض ، ومن هذه الأقمار تيروس TIROS و كوزموس COSMOS.
- **أقمار علمية** : هي أقمار للأبحاث العلمية ، وتقوم بمراقبة الكون و التقاط الصور للمجرات وأشهر هذه الأقمار قمر هابل ، وهو عبارة عن تلسكوب فضائي ضخم لمراقبة وتصوير الكواكب و المجرات البعيدة .
- **أقمار الملاحة** : هي مجموعة أقمار صناعية تستخدم في تحديد المواقع GPS وتساعد السفن والطائرات على تحديد وجهتها ، مثل GPS NAVASTAR satellites.
- **الأقمار العسكرية** : هي أقمار سرية الطابع ، تحتوي على تكنولوجيا متطورة وتقوم بتقوية وبث الاتصالات العسكرية المشفرة والتجسس ومراقبة التحركات العسكرية و أنظمة الإنذار المبكر .

## الوحدات الرئيسة للأقمار الصناعية

ومع تنوع استخدامات هذه الأقمار إلا أنها تتشابه في الوحدات الرئيسة، وهي كما يأتي :

- **وحدة الطاقة :** هي غالباً ما تتكون من ألواح طاقة شمسية وبطاريات قابلة للشحن لتخزين الطاقة والانظمة الحديثة تحتوي على مايعرف بخلايا الوقود، ويستخدم في بعض الأنواع الوقود الذري في الأقمار المرسلة إلى كواكب المجموعة الشمسية .
- **وحدة حاسوبية :** تقوم بالتحكم والمراقبة لمختلف أنظمة القمر الصناعي .
- **وحدة الاتصالات و الهوائيات :** وتستخدم هذه الوحدة في الاتصال مع أنظمة التحكم الأرضية وإرسال معلومات عن حالة القمر، وفي بعض الأنظمة يمكن للمحطة الأرضية أن تتحكم في مدار القمر وتغيير برمجته .
- **نظام التوجيه :** وظيفته الحفاظ على موقع ومسار القمر وتوجيه الهوائيات نحو الموقع المطلوب .

## مدارات الأقمار الصناعية

وتتوزع الأقمار الصناعية على مدارات حول الأرض كما في الشكل (28) وذلك حسب طبيعة استخدامها، وتصنف هذه المدارات كما يأتي :

١ . المدار الجغرافي الثابت (GEO).

٢ . المدار الوسطي (MEO).

٣ . المدار المنخفض (LEO).

شكل (٢٩) : توزيع الاقمار الصناعية على مدارات



### المدار الجغرافي الثابت (GEO)

هذا المدار هو الأكثر استخداماً وارتفاعاً، ويستخدم بكثرة في أنظمة البث الاذاعي والتلفازي، والأقمار في هذه المدارات تبقى مسلطة على بقعة واحدة من الأرض، ويتم ذلك بأن يوضع القمر على ارتفاع 35768Km من سطح الأرض عمودياً على خط الاستواء، ويدور بشكل متزامن مع دوران الأرض بحيث يبقى ثابتاً فوق تلك البقعة .

ويتميز هذا النوع ببساطة نظام الاستقبال الأرضي وعدم حاجته لأجهزة تحكم معقدة لإبقائه على اتصال مع القمر الصناعي . بالإضافة إلى بقاء الاتصال مستمراً مع القمر على مدار اليوم .

GEO Geostationary Orbit
MEO Medium Orbit
LEO Low Orbit

### المدار الوسطي (MEO)

يمتد هذا المدار من مسافة 5000Km إلى 12000Km عن سطح الأرض، وتدور الأقمار الصناعية فيه حول الأرض، وتكمل دورة واحدة كل 2 إلى 12 ساعة، وقد تكون هذه المدارات دائرية أو اهليجية، وبسبب قربها من سطح الأرض فإن طاقة الإرسال لها منخفضة، مما يمكن من استخدام أجهزة اتصالات أصغر حجماً، ويستخدم

عادة مجموعة من الأقمار ينسق فيما بينها لضمان تغطية كامل مساحة الأرض في أي لحظة ما، ويستخدم هذا النوع في أنظمة تحديد المواقع GPS.

### المدار المنخفض (LEO)

يمتد هذا المدار من مسافة 500Km إلى 900Km من سطح الأرض وبسبب هذا القرب فإن الأقمار تدور بسرعة عالية لتجنب سقوطها على سطح الأرض وهذه السرعة تساوي 27359Km /h، وتستغرق الدورة الكاملة مابين 90 دقيقة إلى عدة ساعات وتوضع هذه الأقمار ضمن منظومة وينسق فيما بينها لضمان تغطية كامل مساحة سطح الارض.

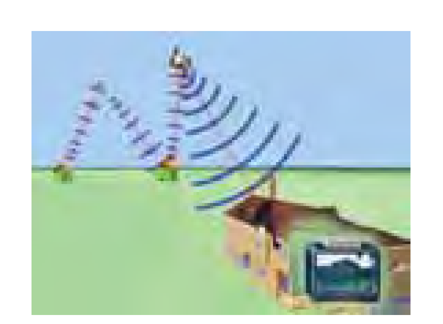
وتستخدم هذه الأقمار للاتصالات المتنقلة بشكل مشابه للأنظمة الخليوية، وستلعب دوراً مهماً مستقبلاً في تطور أنظمة الهواتف الخليوية المستقبلية التي ستتميز بسرعة نقلها للمعلومات و تغطيتها لكامل مساحة الكرة الأرضية، ومن هذه الأنظمة اريديوم والثريا.

## المحطات الأرضية

وتنقسم إلى محطات الإرسال والاستقبال، ومحطات التحكم.

### محطات الإرسال والاستقبال

من هذه المحطات ماهو مستخدم للإرسال والاستقبال في نفس الوقت كما في أنظمة الاتصالات الهاتفية والتلفازية وأنظمة نقل المعلومات كما في الشكل (29) ومنها ماهو للاستقبال فقط، مثل أنظمة الاستقبال التلفازي المنزلية، وتتكون أنظمة الاستقبال التلفازي من وحدة داخلية ووحدة خارجية كما في الشكل (30).



شكل (٣٠): نظام ارسال واستقبال تلفازي

**الوحدة الخارجية:** وتتكون من:

- هوائي الصحن (Dish): ويقوم بعكس وتجميع إشارات القمر الصناعي إلى مدخل وحدة خافض التردد.
- وحدة خافض التردد منخفض التشويش (LNB) وتحتوي على مضخم منخفض التشويش LNA وخافض للتردد (Downconverter) الذي يقوم بتخفيض النطاق 12.2-12.7GHz إلى 1450-950MHz ليمكن إرسالها خلال خط النقل المحوري إلى وحدة الاستقبال الداخلية.

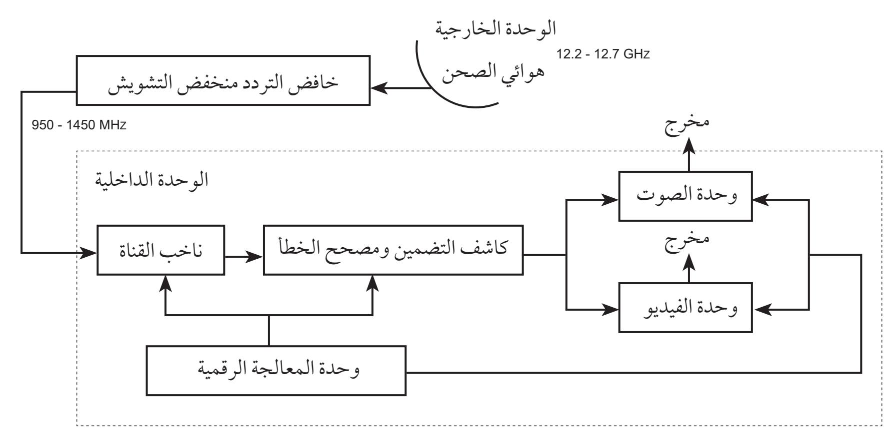



شكل (٣١): نظام استقبال تلفازي

**وحدة الاستقبال الداخلية:** تتكون من:

- ناخب القناة (Tuner) الذي يقوم باختيار التردد المطلوب.
- كاشف التضمين يقوم بكشف تضمين QPSK إلى سلسلة من الإشارات الرقمية، ثم تستخدم تقنيات تصحيح الخطأ لتصحيح الخانات الرقمية المشوهة.

- وحدة فك الدمج، وتقوم باستخلاص القنوات المدمجة بتقنية TDMA.
- وحدة المعالجة الرقمية، وتقوم بفحص صلاحيات مشاهدة القنوات إذا ماكانت مجانية أو مشفرة، ومعالجة وفك القنوات المشفرة.
- وحدتي الصوت والفيديو، وتقومان بتحويل إشارات الصوت والفيديو الرقمية إلى تماثلية لترسل إلى جهاز التلفزيون.




شكل (٣٢): نظام استقبال تلفازي فضائي

## محطات التحكم

هذه المحطات تستخدم من قبل شركات و مشغلي أنظمة الأقمار الصناعية من أجل التحكم في موقع القمر الصناعي في مداره، ومن أجل تنظيم عمل القمر و توزيع القنوات على المستخدمين.

## الخصائص الفنية للاقمار الصناعية:

الجدول التالي يبين الترددات المستخدمة في أنظمة اتصالات الأقمار الصناعية:

| اسم النطاق | التردد (GHz) | الاستخدامات |
|---|---|---|
| VHF | 0.3 - 0.1 | يستخدم في أنظمة الأقمار الصناعية المتنقلة و أنظمة الملاحة ونقل البيانات من أقمار الأرصاد الجوية. |
| UHF | 1.0 – 0.3 | |
| L | 2.0 – 1.0 | |
| S | 4.0 – 2.0 | يستخدم في أقمار الأرصاد الجوية، وبعض أقمار الاتصالات. |
| C | 8.0 – 4.0 | يستخدم للأقمار الصناعية الثابتة، وتستخدم الأقمار الصناعية النطاق 4.2GHz – 3.7GHz في الإرسال (Downlink) و النطاق 5.9GHz – 6.4GHz في الاستقبال (Uplink) ويستخدم في أنظمة البث التلفازي. |
| X | 12.0 – 8.0 | يستخدم في بعض أنظمة أقمار الاتصالات وأنظمة الرادار. |

| | | |
|---|---|---|
| Ku | 18.0 – 12.0 | يستخدم في البث التلفازي . |
| K | 27.0 – 18.0 | يستخدم في بعض أنظمة أقمار الاتصالات . |
| Ka | 40.0 – 27.0 | |
| V | 75 – 40.0 | لا يستخدم بشكل كبير إلا في بعض الأبحاث العلمية ، و تم تحديده لأنظمة الاتصال القصيرة المدى والسعة العالية . |
| W | 110 – 75 | مازالت الأنظمة التي تستخدم هذه الترددات قيد البحث و التطوير . |
| Mm | 300 – 110 | |
| Mµ | 3000 - 300 | |

يتم توزيع الترددات و تقسيمها على الكرة الأرضية على النحو الآتي :

١ . أمريكا الشمالية والجنوبية .

٢ . أوروبا وإفريقيا وروسيا .

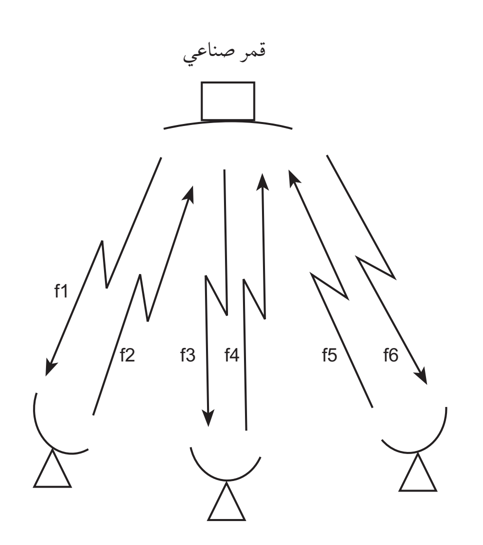
٣ . آسيا وأستراليا وجنوب غرب المحيط الهادي .

وتوزع الترددات على حسب الخدمات ، حيث يمكن لخدمة معينة في منطقة ما أن يختلف ترددها عن منطقة أخرى .

## تقنيات الوصول

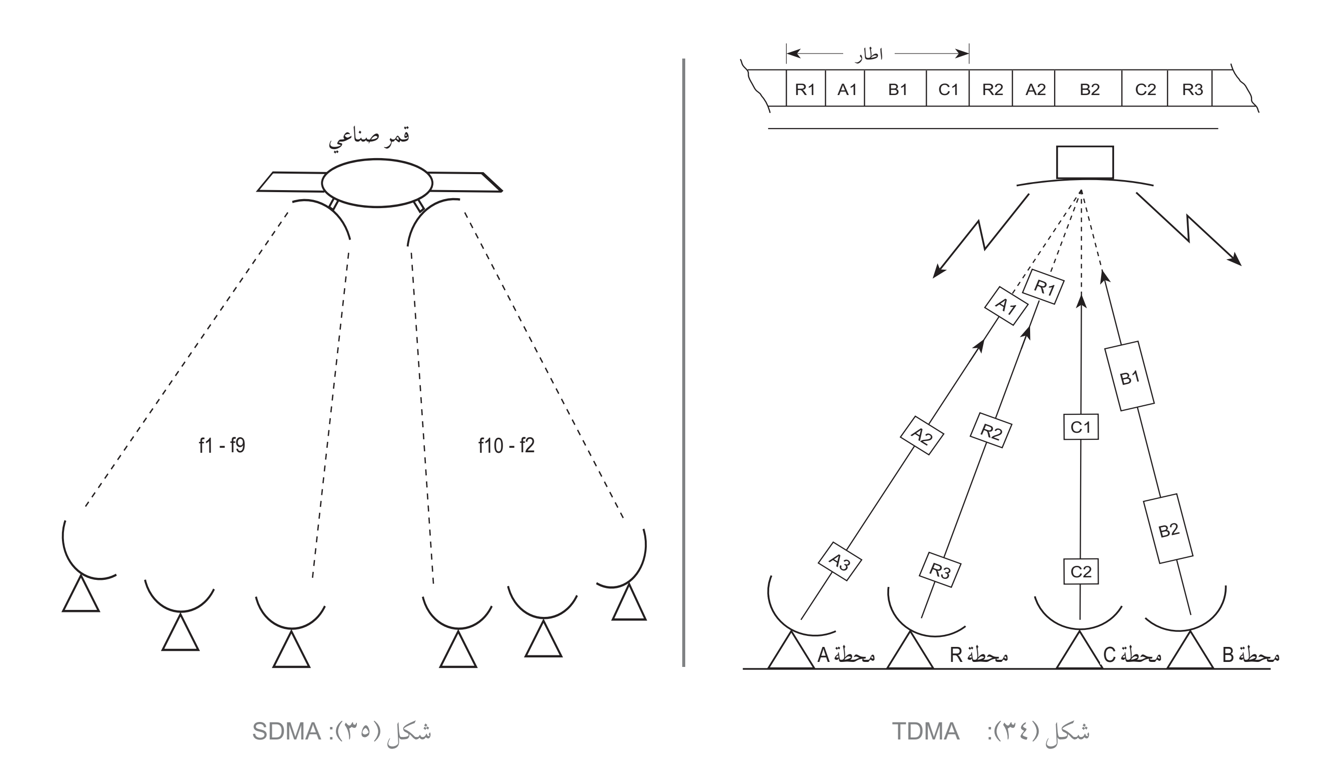
تستخدم في أنظمة الأقمار الصناعية نفس تقنيات الوصول كما في الأنظمة الأرضية وهي :

- FDMA : في هذ النوع يتم توزيع قنوات الاتصال بين مختلف المحطات الأرضية حيث توزع الترددات بين المحطات ، و يتم تجميع هذه القنوات ضمن نطاق ترددي عريض كما في الشكل(33) .



شكل (٣٣) : FDMA

- TDMA : يتم في هذا النوع تقسيم القنوات زمنياً بين المحطات الأرضية بحيث تعطى كل محطة شريحة زمنية محددة ضمن الإطار الزمني على النطاق الترددي نفسه . لاحظ الشكل (34) .
- CDMA : ترسل القنوات في هذا النوع بشكل متزامن على النطاق الترددي نفسه ، لكن تعطى كل قناة ترميزاً محدداً ليكمن بعد ذلك التفريق بينها في جهة الاستقبال .
- SDMA : توزع الترددات في هذا النوع على مناطق التغطية بحيث يمكن اعادة استخدام نفس الترددات اكثر من مرة وذلك بتوجيه هوائيات القمر الصناعي لتغطي مناطق محددة (Spot) كما في الشكل (35) .



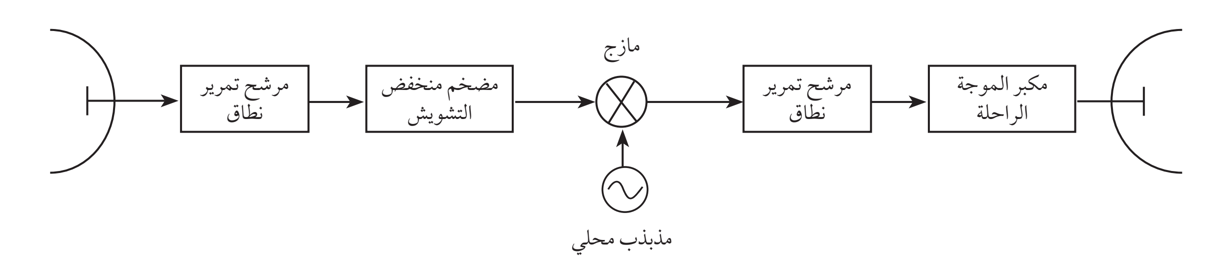

شكل (٣٤): TDMA

شكل (٣٥): SDMA

## محول التردد Transponder

يستخدم محول التردد في أنظمة أقمار الاتصالات، حيث يقوم باستقبال الاشارت الأرضية ضمن مدى ترددي معين (6GHz في c-band) لتمر عبر مرشح نطاق، ومن ثم إلى مضخم منخفض التشويش LNA.

يقوم بعد ذلك المازج بتخفيض تردد الاشارات المستقبلة (4GHz في c-band)، ويقوم مرشح النطاق بتمرير التردد المرغوب، وقبل إرسال هذه الموجة إلى الأرض يتم تضخيمها عبر أنبوب مكبر الموجة الراحلة TWT.




شكل (٣٦): محول التردد

## الأسئلة

س١ : أ . ما المقصود بالآتي : نظام اتصال الميكروويف ، خط الرؤية؟

ب . أذكر خمسة استخدامات للميكروويف في الطب والصناعة .

س٢ : اذكر مزايا أنظمة إتصال الميكروويف .

س٣ : وضح مع المخطط الصندوقي مكونات جهاز إرسال وجهاز استقبال الميكروويف التماثلي .

س٤ : اذكر تصنيفات أجهزة الميكروويف حسب طبيعة عملها .

س٥ : اذكر استخدام كل من العناصر الآتية :

الكليسترون ، الماجنيترون ، الصمام الثلاثي ، مكبر الموجة الراحلة ، الرابط الاتجاهي ، العازل ، المدور .

س٦ : وضح مبدأ عمل وتركيب دليل الموجة .

س٧ : اذكر استخدامات وأنواع دليل الموجة .

س٨ : ما هي الأمور الواجب مراعاتها عند تصميم شبكات اتصال الميكروويف؟

س٩ : وضح باختصار الوحدات الرئيسة المكونة للأقمار الاصطناعية .

س١٠ : اذكر مكونات أنظمة الاستقبال التلفازية المستخدمة بأنظمة الأقمار الصناعية .

س١١ : وضح باختصار مع الرسم الصندوقي مكونات وحدة الاستقبال الداخلية بأنظمة الأقمار الصناعية .

س١٢ : وضح آلية توزيع الترددات على الكرة الأرضية .

س١٣ : اشرح مع الرسم الصندوقي مكونات محول التردد .

س١٤ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

١ . من استعمالات الميكروويف الاستشعار عن بعد .

٢ . تتعرض موجات الميكروويف للتنصت والتشتت .

٣ . يستخدم الصمام الثلائي لتكبير ترددات الميكروويف فقط .

٤ . يعتمد الكليسترون في عمله على وجود تجاويف تساعد على توليد ترددات الميكروويف .

٥ . يستخدم المدور في أنظمة اتصال الميكروويف لتمرير الإشارة القادمة من أي منفذ إلى المنفذ الذي يسبقه مباشرة .

٦ . من مميزات الأقمار الصناعية تقيدها بالتضاريس الجغرافية لسطح الأرض .

٧ . يعدّ المدار الوسطي أكثر استخداماً والأكثر ارتفاعاً .

٨ . يستخدم محول التردد في أنظمة الأقمار الصناعية لاستقبال الإشارات الأرضية ضمن المدى الترددي 4GHZ .

س١٥ : أختر الإجابة الصحيحة في الأسئلة الآتية :

١ . تقع ترددات الميكروويف ضمن النطاق الترددي :

أ . 30GHZ – 1GHZ.　　ب . 300GHZ – 1GHZ.

جـ. 3GHZ – 1GHZ.　　د . غير ذلك .

٢ . من عيوب استخدام أنظمة الميكروويف :

أ . التكلفة العالية .　　ب . عدم فعالية أنظمة الحماية .

جـ. التأثر بتقلب الظروف الجوية .　　د . غير ذلك .

٣ . يعدّ الماجنيترون :

أ . مكبر ترددات الميكروويف .　　ب . صمام ثنائياً مولداً ترددات الميكروويف .

جـ. غير ذلك .　　د . مكبر قدرة ومذبذباً .

٤ . يستخدم العازل في أنظمة اتصال الميكروويف :

أ . لتمرير إشارات الميكروويف بالاتجاهين .

جـ. لتمرير إشارات الميكروويف باتجاه واحد .

جـ. الأغراض القياسات والتحكم في مستوى إشارات الميكروويف .

د . لغير ذلك .

٥ . من أقمار الاتصالات :

أ . عربسات .　　ب . كوزموس COSMOS.

جـ. تيروس TIROS.　　د . قمر هابل .

٦ . من أقمار الأرصاد الجوية :

أ . انتلسات .　　ب . كوزموس COSMOS.

جـ. قمر هابل .　　د . Gps NAVASTAR.

٧ . يمتد المدار الجغرافي الثابت المستخدم في أنظمة اتصالات الأقمار الصناعية من :

أ . 1000km – 500km.　　ب . 5000km – 500km.

جـ. 5000km-12000km　　د . لمسافة تصل 35768km.

٨ . من تقنيات الوصول المستخدمة في أنظمة الأقمار الصناعية :

أ . FDMA.　　ب . CDMA.

جـ. TDMA.　　د . جميع ما ذكر .


الوحـــــدة


٥


الشبكـــــات الهــــــاتفية
Telephony Networks



# مدخل إلى الشبكات الهاتفية

يعدّ الاتصال بين أفراد المجتمع ضرورة أساسية لكل الناس في جميع المجتمعات ومختلف العصور، حيث تبادل الناس الأخبار والمعلومات بوسائل مختلفة، مثل قرع الطبول والإشارات الدخانية والحمام الزاجل، ومن ثم بدأ نظام البريد، وبعدها التلغراف الذي كان يوصل رسائل نصية باستخدام إشارات كهربائية ترمز للأحرف الهجائية، حيث أصبح بالإمكان نقل المعلومات عبر الأسلاك إلى مسافات بعيدة وبسرعة عالية، ولكن ظلت الحاجة الملحة لنقل الصوت وليس فقط الرسائل النصية، وهنا جاء اختراع الهاتف والشبكة الهاتفية لسد هذه الحاجة.

تطورت الشبكات الهاتفية وارتبطت ببعضها، واتسع مدى انتشارها واعتمدت على قواعد موحدة عالمياً مكنتنا من الاتصال بأي شخص في العالم ومحادثته.

إن ثورة الاتصالات التي بدأت بالهاتف، والتي تعددت أوجهها ما زالت مستمرة، وتؤثر تأثيراً مباشراً على حاضرنا ومستقبلنا، ومن هنا سنتناول في هذه الوحدة الشبكة الهاتفية العامة PSTN.

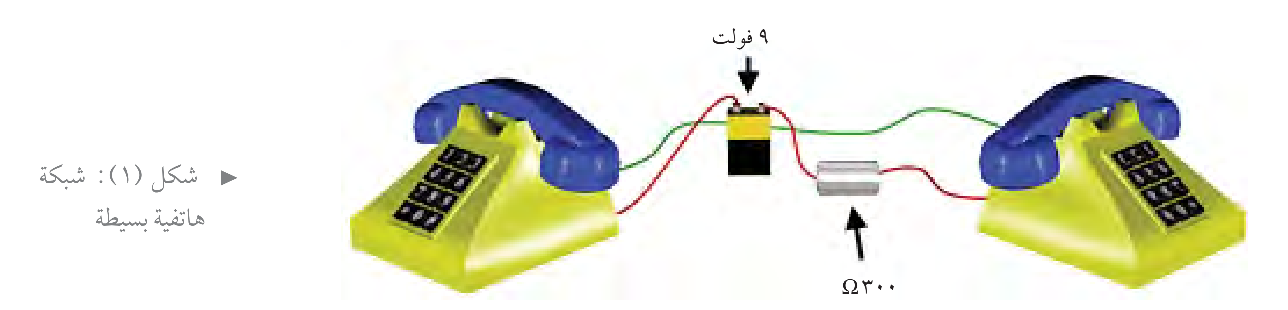
## أهداف الوحدة

بعد دراستك هذه الوحدة، يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

- تتعرف على مكونات الشبكة الهاتفية.
- تتعرف على مكونات وطريقة عمل الهاتف بأنواعه.
- تتعرف على مكونات شبكة التوزيع الهاتفية.
- تتعرف على الأنظمة المكونة للمقسم وأنواع المقاسم.
- تشرح سيناريوهات المكالمات الهاتفية بأنواعها.
- تتعرف على مكونات منظومة التراسل.

## تطور الشبكات الهاتفية البدائية

إن أبسط شبكة هاتفية يمكن إنجازها هي ربط جهازي هاتف بوصلة هاتفية وبطارية 9 فولت، ومقاومة صغيرة حوالي 300 أوم، كما هوموضح في الشكل (1):




شكل (١): شبكة هاتفية بسيطة

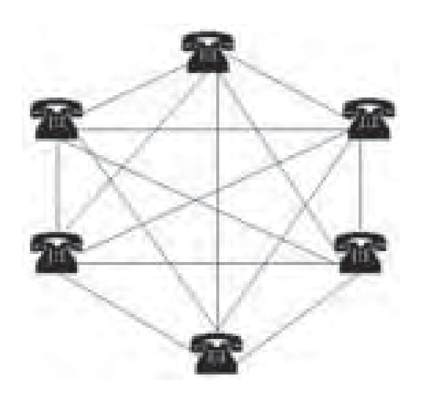
فبمجرد رفع السماعتين تكتمل الدارة الكهربائية يصبح بالإمكان الحدث بين طرفي هذه الشبكة الهاتفية البسيطة بداية من القطب الموجب للدارة وعبر المقاومة إلى أحد الهاتفين، ثم عبر السلك الآخر في الوصلة الهاتفية إلى الهاتف الآخر ونهاية بالقطب السالب للبطارية.

مع العلم أننا لا نستطيع أن نستخدم تقنية الترقيم بين هذين الجهازين أوحتى سماع نغمة الطلب (Dial Tone) ونغمة الجرس؛ وذلك لحاجتنا إلى مكونات أخرى تشكل في مجملها الشبكة الهاتفية المتطورة إلا أن هذه الشبكة البسيطة تعدّ النواة الأولى للشبكة الهاتفية العامة PSTN.

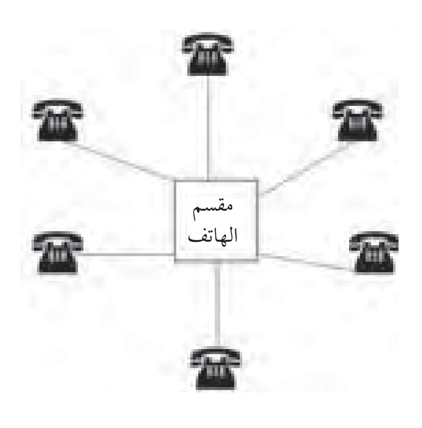
PSTN Public Switched Telephone Network

إن الشبكة البسيطة تصلح لربط هاتفين فقط ولكن ماذا إذا ما رغبنا بربط أكثر من هاتف في شبكة واحدة؟ لاحظ الشكل (2).

للإجابة عن هذا السؤال ظهرت شبكات الاتصال البدائية، حيث كانت جميع أجهزة الهاتف مرتبطة بمكتب مركزي (Central office) يدعى المقسم كما في الشكل (3)، وفي هذا المقسم يتم وصل الدارة الكهربائية للمتصل بالدارة الكهربائية لوجهة الإتصال يدوياً باستعمال لوح التحويل اليدوي (Manual Switching Bord).



شكل (٢): شبكة هاتفية بدون مقسم

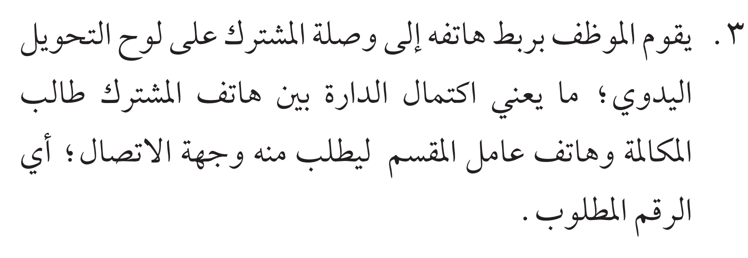


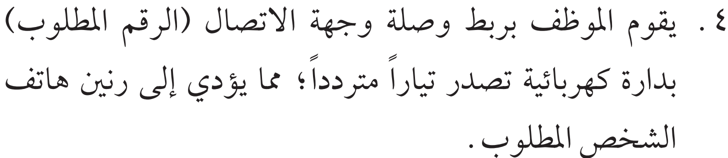

شكل (٣): مقسم الهاتف

حيث يرتبط هاتف المشترك بزوج من الأسلاك النحاسية إلى لوح التحويل اليدوي في المقسم، وتبين الخطوات الآتية عملية الاتصال في مثل هذه الشبكات :

١ . عند رفع سماعة الهاتف تكتمل الدارة الكهربائية بين الهاتف ولوح التحويل اليدوي .

٢ . يؤدي ذلك إلى إضاءة مؤشر ضوئي خاص بالزوج النحاسي للمتصل ؛ مما يشير لموظف المقسم بأن المشترك يريد إجراء مكالمة هاتفية .


٣ . يقوم الموظف بربط هاتفه إلى وصلة المشترك على لوح التحويل اليدوي؛ ما يعني اكتمال الدارة بين هاتف المشترك طالب المكالمة وهاتف عامل المقسم ليطلب منه وجهة الاتصال؛ أي الرقم المطلوب .


٤ . يقوم الموظف بربط وصلة وجهة الاتصال (الرقم المطلوب) بدارة كهربائية تصدر تياراً متردداً؛ مما يؤدي إلى رنين هاتف الشخص المطلوب .


مقسم يدوي

٥ . عند رفع سماعة الهاتف من قبل الشخص المطلوب تكتمل الدارة الكهربائية بين الهاتف ولوح التحويل اليدوي، وحينها يربط موظف المقسم وصلتي كلا المشتركين على اللوح بوساطة وصلة هاتفية تكمل الدارة الكهربائية بين الهاتفين، وبذلك يتم الاتصال .

إلا أن مقاسم التحويل اليدوي كان لها عيوبها ونستطيع أن نقدر الوقت والجهد الذي كان يلزم المتصل لينجح في عملية الاتصال مع مشترك آخر موصل في نفس المقسم اليدوي وزيادة الصعوبة إذا ما كان الرقم المطلوب ينتمي لمقسم آخر .

وبالطبع كلما زادت المسافة بين المقاسم وجب استعمال مقويات للإشارة لتحسين جودة الصوت ، وفوق ذلك كله كانت عملية التحويل تعتمد على العنصر البشري البطيء نسبياً ، والذي كان من الممكن أن يخطيء .

ولحل مشكلة الاعتماد على العنصر البشري (عامل المقسم) في عملية التحويل تم تطوير هذه العملية لتعتمد أسلوب التحويل الكهروميكانيكي، لكنه لم يساهم كثيراً في حل المشكلات، وبقيت عملية الاتصال صعبة نوعاً ما .

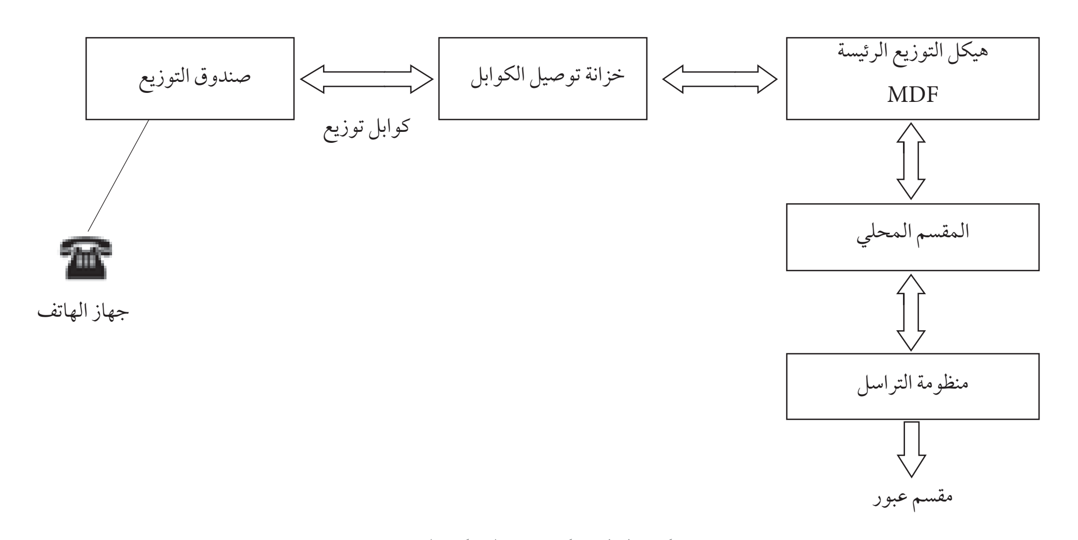
ومع التطور التكنولوجي وزيادة الطلب ظهرت أجيال جديدة من المقاسم الكهروميكانيكية تلتها المقاسم الإلكترونية الحديثة مع بداية استعمال الصمامات الإلكترونية (الترانزستور)؛ مما ساعد علي بناء مقاسم ذات كفاءة وسعة عالية لتحل محل موظف المقسم في ربط خطوط الهاتف للمشتركين، وبقي المبدأ العام في إتمام المكالمة والذي يعتمد على توصيل خطي طرفي المكالمة عبر دارة كهربائية ثابتاً .

## مكونات الشبكة الهاتفية

تتكون الشبكة الهاتفية كما هومبين في الشكل (4) من المكونات آلآتية :

- جهاز الهاتف .
- شبكة التوزيع الهاتفية .
- هيكل التوزيع الرئيس (MDF) .
- المقاسم المحلية ومقاسم العبور ، والمقسم الدولي .
- منظومة التراسل (Transmission Media) .

MDF Main Distribntion Frame




شكل (٤) : مكونات الشبكة الهاتفية

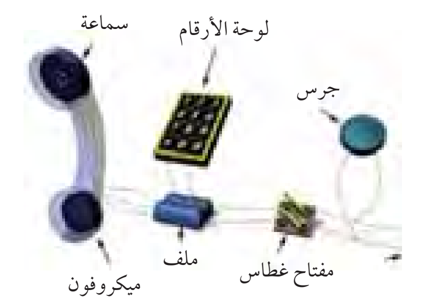
## جهاز الهاتف

مهما تطور جهاز الهاتف وتنوعت خدماته إلا أنه يحتوي على المكونات الأساسية اللازمة لإجراء المكالمة الهاتفية كما في الشكل (5) وأهم هذه الأجزاء الميكروفون ، والسماعة ، وحدة التنبيه ، وحدة الترقيم ، ودارة الكلام ، والمفتاح الغطاس .

### ١. دارة الكلام (speech circuit)

وتتكون من المرسل والمستقبل والمضخم والملف التأثيري .

أ . **ميكروفون** (microphone) : ومنه أنواع متعددة منها ذلك الذي يعتمد في عمله على حبيبات الكربون؛ والذي يسمى الميكروفون الكربوني .



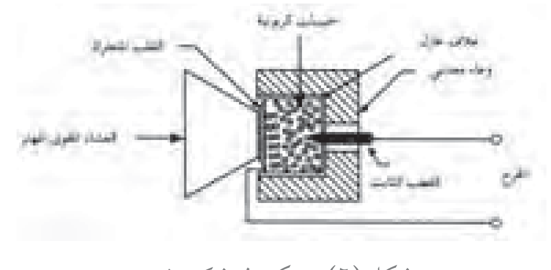

شكل (٥) : أجزاء الهاتف

توجد حبيبات الكربون في غلاف عازل موضوع في وعاء معدني يخترقه مسمار يمثل القطب الاول، ويمثل الغطاء المتحرك القطب الآخر، ويتصل مع القطب المتحرك الغشاء المهتز المصنوع من مادة عازلة مقواة كما هوموضح بالشكل (6):

وتوضح الخطوات الآتية آلية عمل الميكروفون:

١. تحدث الموجات الصوتية اهتزازات في غشاء الميكروفون الذي بدوره يقارب أويباعد حبيبات الكربون في الميكروفون بعضها عن بعض.

٢. يؤثر ذلك على قابلية التوصيل في الحبيبات تبعاً لتقارب أوتباعد الحبيبات عن بعضها.

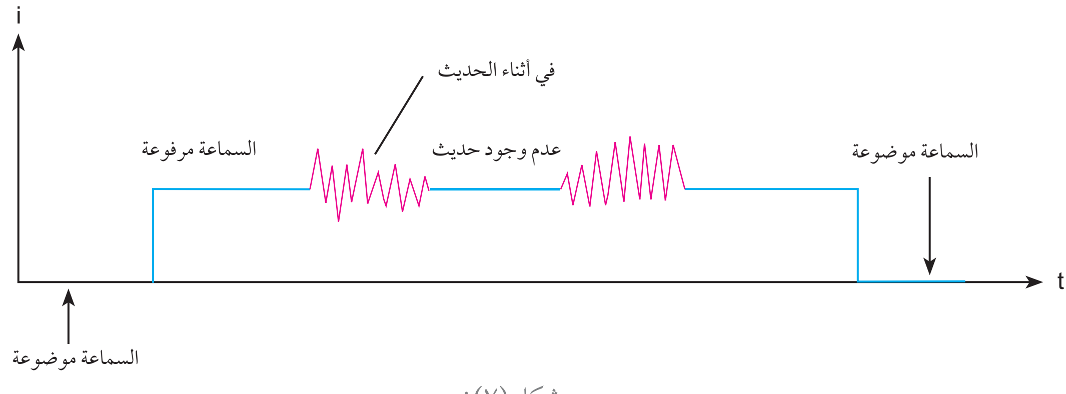


شكل (٦): ميكروفون كربوني

٣. هذا يؤدي إلى تذبذب التيار المار عبر قطبي الميكروفون ممثلا بذلك الإشارة الصوتية للمتحدث.

وبذلك نحصل على تيار يتناسب مع شدة الصوت الواقع على الغشاء المهتز، أي إنه يتم تحويل الموجات الصوتية إلى تيار كهربائي يرسل عبر دارة الهاتف.

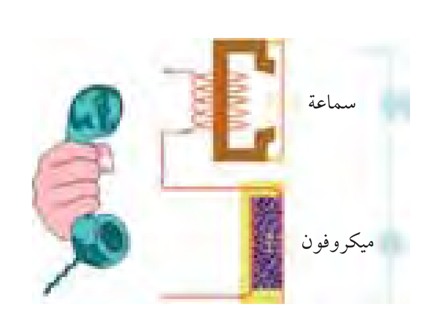
يبين الشكل (7) التيار المار في الميكروفون الكربوني في أثناء الحالات المختلفة لجهاز الهاتف:



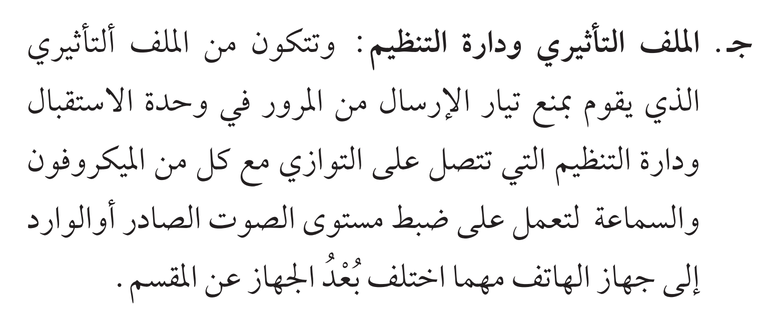

شكل (٧):

وقد تطورت الميكروفونات في الهواتف فأصبحت تستخدم الميكروفونات الإلكترونية.

ب. **السماعة** (speaker): وهي تعمل عكس عمل اللاقط حيث تقوم بتحويل الإشارة الكهربائية (التيار المتذبذب) إلى موجة صوتية نسمعها، ويقوم مبدأ عملها على وجود ملف تمر عبره الإشارة الصوتية فيتحدث مجال مغناطيسي يتنافر ويتجاذب مع مغناطيس مثبت في هيكل السماعة، حيث إن هذا التنافر والتجاذب يحرك معه غشاء السماعة محدثاً اهتزازات تنتقل في الهواء على شكل موجات صوتية مسموعة، ويبين الشكل (8) تركيب السماعة.



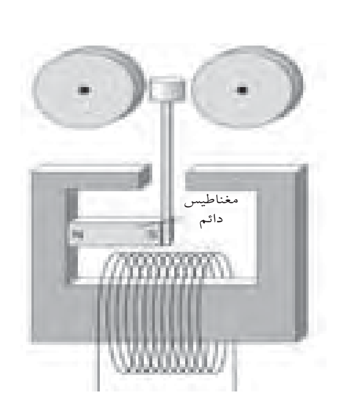

شكل (٨):



ج. **الملف التأثيري ودارة التنظيم :** وتتكون من الملف ألتأثيري الذي يقوم بمنع تيار الإرسال من المرور في وحدة الاستقبال ودارة التنظيم التي تتصل على التوازي مع كل من الميكروفون والسماعة لتعمل على ضبط مستوى الصوت الصادر أوالوارد إلى جهاز الهاتف مهما اختلف بُعْدُ الجهاز عن المقسم .

## ٢. وحدة التنبيه (الجرس) (Ringer)

تصنع وحدة الجرس بأشكال مختلفة أبسطها الجرس ذوالناقوسين الذي يعتمد على اختلاف القطبية في طرفي قلب حديدي على شكل U أثناء تغير مرور التيار في الملف ؛ مما يجعل المطرقة تطرق الناقوس الأول ثم الآخر ، ويوضح الشكل (9) هذا النوع .



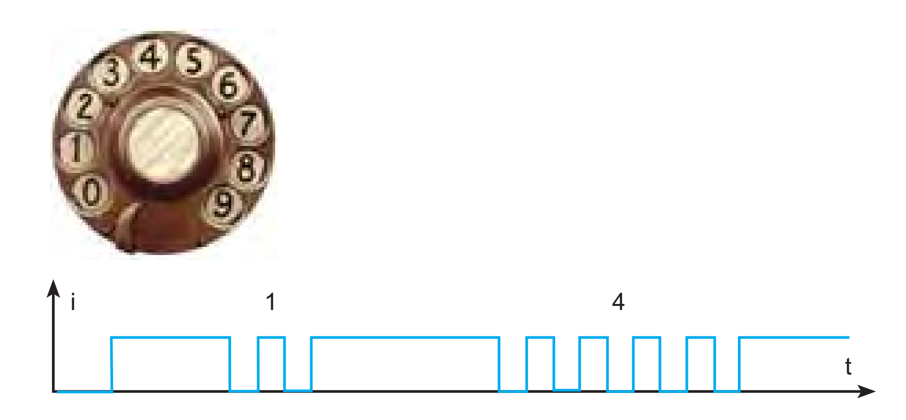

شكل (٩): الجرس ذو الناقوسين

وفي الهواتف الإلكترونية الحديثة ينتشر النوع الإلكتروني من وحدات التنبيه (الجرس) حيث تتكون هذه الوحدات من دارات إلكترونية تقوم باستقبال تيار التنبيه المتناوب المرسل من المقسم وتحويله إلى تيار مستمر لتشغيل دائرة التنبيه .

## ٣. قرص الطلب أو لوحة الأرقام

لكل خط هاتف موصول رقماً يميزه عن غيره في الشبكة الهاتفية ؛ ولذلك فإن أي جهاز هاتف لا بد وأن يكون من مكوناته ما يساعد في عملية طلب الأرقام ، وقد قسمت أجهزة الهواتف بناء على طريقة طلب الأرقام كالآتي :

أ. **جهاز الهاتف القرصي :** هوالنوع القديم والذي كان يعتمد في عملية طلب الرقم على تقسيم تيار المستمر (DC) إلى نبضات تمثل الرقم المطلوب ، ويتم إرسالها إلى المقسم فمثلاً يتم إرسال نبضة واحدة للرقم (1) ونبضتين للرقم (2) ... ، وهكذا . لاحظ الشكل (10) .




◀ شكل (١٠): جهاز الهاتف القرصي

ب . **جهاز الهاتف ذوالكبسات** : تحتوي وحدة الترقيم على كبسة لكل رقم من صفر إلى تسعة بالإضافة إلى كبستي النجمة * والسلم # ويتم تمثيل كل كبسة بإشارة هي عبارة عن نغمتين ذات ترددين مختلفين (إحدى هاتين النغمتين تنتمي لمجموعة من الترددات العالية، والنغمة الأخرى تنتمي لمجموعة من الترددات المنخفضة) كما هوموضح في الجدول الآتي :

| | 1209Hz | 1336Hz | 1477Hz |
|---|---|---|---|
| 697Hz | 1 | 2 | 3 |
| 770Hz | 4 | 5 | 6 |
| 852Hz | 7 | 8 | 9 |
| 941Hz | * | 0 | # |

النجمة(*) والسلم (#) تستخدم في بعض الخدمات الخاصة داخل الشبكة .

**نشـــــاط (١):**

ابحث عن بعض الخدمات التي تستخدم النجمة(*) والسلم(#) .

فمثلا، عند الضغط على الكبسة الخاصة بالرقم واحد يولد نغمتان ترددهما (1209 و697 ) هيرتز ، حيث يستقبل المقسم هذه الإشارات ويحللها لإتمام عملية الاتصال .

ويتضح أن وحدة الترقيم تتكون من لوحة الكبسات ودارات إلكترونية مثبتة على اللوحة الإلكترونية الرئيسة ، وبما أن كل رقم يحتاج إلى ترددين لتمثيله فقد سميت أجهزة الهاتف ذات الكبسات التي تستخدم هذا النمط من وحدات الترقيم، اجهزة هاتف الكبسات ذات النغمة المزدوجة متعددة الترددات DTMF .

ويمكن أن تعمل أجهزة هواتفنا الإلكترونية بتوليد النبضات كما في الهاتف القرصي، وذلك بتغيير أحد المفاتيح الخاصة في جهاز الهاتف من DTMF إلى PULSE ( نبضة)، وتتم عملية توليد النبضات إلكترونياً .

### ٤. المفتاح الغطاس (Hook Swich)

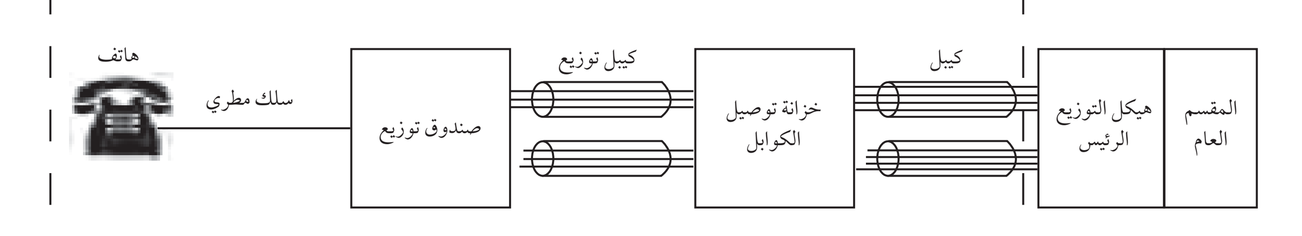
DTMF Dual Tone Multi Frequency

وهو مفتاح يحتوي على مجموعة الملامسات، ويقوم بالوظائف الآتية .

- وصل دارة التنبيه وفصل دارة الكلام عندما تكون السماعة موضوعة .
- فصل دارة التنبيه ووصل دارة الكلام عندما تكون السماعة مرفوعة .

## شبكة التوزيع الهاتفية

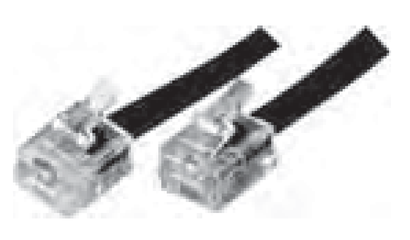
تتكون من الوصلات والصناديق والكوابل وخزائن التوزيع، والشكل (11) يوضح الأجزاء الرئيسة لشبكة التوزيع الهاتفية .




شكل (١١): شبكة التوزيع الهاتفية

يتم توصيل جهاز الهاتف بالوصلة الهاتفية برأس توصيل موحد عالمياً يدعى RJ11. الموضح بالشكل (12):

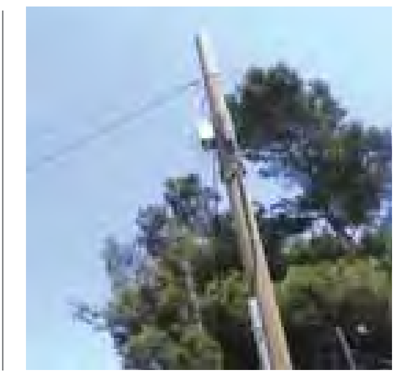
ويتم وصل الطرف الآخر بمقبس الهاتف، ومن ثم بسلك زوجي يدعى السلك المطري (Drop Wire)، وهومكون من زوج أسلاك نحاسية مغلف بمادة عازلة (بلاستيكية) ذات قدرة على مقاومة العوامل الجوية المختلفة من حرارة ورطوبة إلى صندوق توزيع مثبت على عامود خشبي غالباً ويصنع هذا الصندوق من البلاستيك المقوى.



شكل (١٢): وصلة هاتفية

وتعتمد سعة صندوق التوزيع على عدد المشتركين الذين يتوقع أن يخدمهم وذلك حسب خطط خاصة يقوم مهندسو تخطيط الشبكة بإعدادها، والتأكد من إعطاء كل صندوق رقماً يميزه في الشبكة، كما يوضح الشكل (13).

يتسع الصندوق عشرين خطاً ويمثل كل خط بزوج من الأسلاك موصل على لوح تثبيت في الصندوق كما هوموضح بالشكل (13).








شكل (١٣): صندوق توزيع

ويتم ربط مجموعة من الصناديق بخزانة توزيع رئيسة (خزانة توصيل الكوابل) عن طريق كيبل توزيع يتفرع عنه كيبل صغير لكل صندوق، ويوضح الشكل (14) خزانة التوزيع.

ترتبط خزانة التوزيع مع هيكل التوزيع الرئيسية MDF بكيبل رئيسي ذي سعة كبيرة .

ومن هنا يتضح أن هناك سعات مختلفة للكوابل تختلف باختلاف اهداف استعمالها فمثلاً تستخدم الكوابل ذات السعات الصغيرة نسبياً من عشرة أزواج حتى مئة زوج ككوابل فرعية ، أما الكوابل ذات سعة 2000 أو 4000 خط فتستخدم ككوابل رئيسة .



شكل (١٤) : خزانة توزيع



شكل (١٥) : هيكل التوزيع الرئيسي

MDF Main Distribution Frame

## هيكل التوزيع الرئيسي (MDF)

يتكون هيكل التوزيع الرئيسة (MDF) من قوائم معدنية عمودية وأفقية مثبتة بشكل جيد، ويوجد على هذه القوائم حوامل وتوصيلات، كل حامل يمكن أن يتسع لمئة خط (زوج) كما هوموضح في الشكل (15).

وتكون هذه القوائم في الطابق الأرضي لأبنية المقاسم عادة مع وجود غرفة تحتها (تحت الأرض) تدعى المنهل الرئيسي لتجميع الكوابل .

يتم ربط نهايات الكوابل القادمة من المقسم (الموصلة بكرتات المشتركين في المقسم المحلي ) على أحد وجهي هيكل التوزيع ، في حين تربط الكوابل الرئيسة (الموصلة بشبكة التوزيع الهاتفية ) على الوجه الآخر لهيكل التوزيع ، ويتم التوصيل بينهما بوساطة أسلاك نحاسية (Jumper) كما هوموضح بالشكل (16) .



شكل (١٦) : هيكل التوزيع الرئيسي

ويحرص دائماً على استعمال معدات حماية خاصة مكونة من دارات كهربائية يتم توصيلها على خطوط المشتركين في هيكل التوزيع الرئيس لحماية أجهزة المقسم من التيارات والفولتيات العالية التي يمكن أن تنشأ عن طريق تماس أسلاك الخطوط الخارجية بشبكة الكوابل الكهربائية ، أومن الصواعق في فصل الشتاء .

**نشـــاط (٢):**

قم بزيارة ميدانية لشبكة التوزيع الهاتفية في محيط مدرستك .

## المقاسم (Switches)

كان الجيل الأول من المقاسم ( المقاسم اليدوية ) يتيح ربط المشتركين بمساعدة عامل المقسم ، ومن عيوب هذه المقاسم :

١ . كان يجب وضعها في موقع متوسط بين منازل المشتركين لضمان توزيع الخدمة بأقصى تغطية ممكنة حيث إن الإشارة الكهربائية تضعف كلما زاد طول السلك النحاسي الذي تمر فيه .

٢ . ذات سعة قليلة نسبياً ، ولم تكن تكفي لسد حاجة الأعداد المتزايدة من المشتركين .

٣ . في حالة طلب مشترك في مدينة أخرى كان يجب أن تكون المقاسم مرتبطة فيما بينها ، ويتم التحويل يدوياً من مقسم لآخر .

٤ . اعتمادها على العامل البشري والوقت المستغرق قبل البدء بالمكالمة .

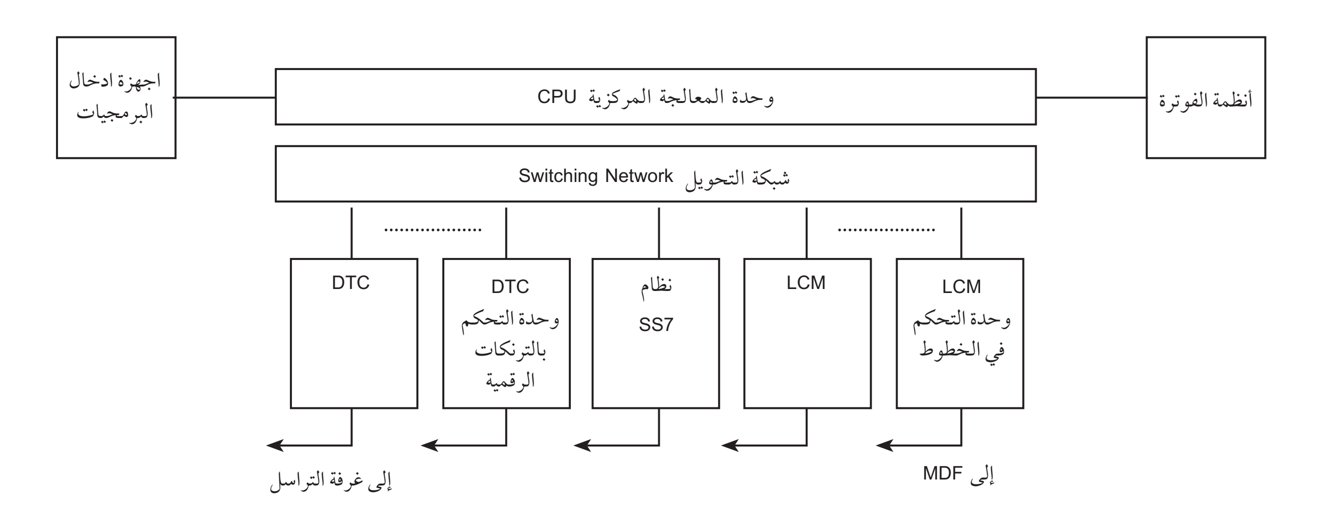
ورغم بطئها وإمكانيات الأخطاء التي كانت تحدث في أثناء تحويل المكالمات إلا أنها كانت اللبنة الأساسية في عملية تطوير المقاسم .

ظهر الجيل الثاني باختراع المقاسم الكهروميكانيكية والتي وفرت إمكانية ربط المشتركين مع بعضهم دون تدخل العامل البشري ، وكانت تعتمد تلك المقاسم في عملها على أجزاء كهروميكانيكية تحقق هذا الهدف . ومع التطور الكبير في الحواسيب والبرمجيات ودخولها في مجال الاتصالات فقد تم تطوير وحدات التحكم المركزية في المقاسم لتعتمد على أجهزة الحاسوب ، وتم تطوير برامج حاسوبية خاصة لتخدم أغراض التحويل (switching) والتحكم في أجزاء المقاسم وبهذا بدأت ولادة الجيل الثالث المعروف بالمقاسم الإلكترونية التماثلية .

ومع التقدم العلمي الذي تحقق في تحويل الإشارة التماثلية (Analog) إلى رقمية (Digital) باستخدام آليات التضمين النبضي المرمز (PCM) ظهرت المقاسم الرقمية (Digital switches) .

### المقسم الرقمي وأنظمته الرئيسة

إن المقاسم في الشبكة الهاتفية هي الجزء الذي يعمل على التحكم وإدارة هذه الشبكة بأجزائها المختلفة ، وبآليات تهدف إلى تقديم الخدمة الهاتفية للمشتركين بالشكل المطلوب . الشكل (17) يبين الوحدات الرئيسية للمقسم .




شكل (١٧) : مخطط صندوقي للمقسم الرقمي

يتكون المقسم من عدد من ألأنظمة التي تتكامل فيما بينها، وهذه الأنظمة هي :

- أنظمة التعامل مع المشترك .
- أنظمة الترقيم .
- أنظمة البرمجيات الخاصة .
- نظام الإشارة للقناة المشتركة .
- أنظمة الفوترة .

**أنظمة التعامل مع المشترك**

وتتكون من كرت المشترك، ووحدات التحكم بالخطوط الهاتفية، ووحدات التحكم بالترنكات الرقمية .

١ . **كرت المشترك** : يتكون من دارات إليكترونية على شكل كرت كما هوموضح في الشكل (18) :

يتم وضع الكرت في جرار مصمم لهذه الغاية، ويمكن أن يحوي الجرار في بعض أنواع المقاسم المحلية على 32 كرتاً . ويوضح الشكل (19) أحد الجرارات :



شكل (١٨) : كرت المشترك



شكل (١٩) : جرار كرتات المشتركين

ويصل كل كرت إلى كيبل توصيل خاص بين كل جرار وحوامل التوصيلات المثبتة على لوحات التوزيع الرئيسية .


شكل (٢٠) : وحدات التحكم بالخطوط الهاتفية

٢ . **وحدات التحكم بالخطوط الهاتفية (LCM)** : يتم تجميع الجرارات في هياكل يتسع كل هيكل لعدد من الجررات ويعتمد هذا العدد على نوع المقسم من حيث الشركة المصنعة إلا ان جميع المقاسم المحلية تعتمد على المبدأ ذاته .

ويحمل كل كرت رقماً يدعى رقم الخط (Line Number) ، يختلف عن رقم الهاتف ، ويتكون هذا الرقم من ثلاثة أجزاء :

- رقم الكرت داخل الجرار .
- رقم الجرار داخل وحدة التحكم .
- رقم وحدة التحكم في المقسم .

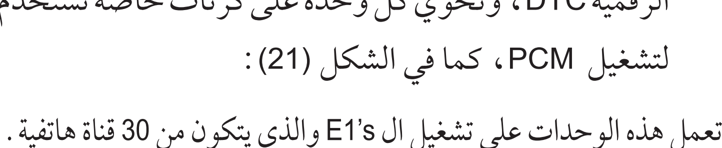
فمثلا : رقم الخط 05-9-12 يعني الكرت الذي رقمه 12 في الجرار رقم 9 في الوحدة الخامسة .

أن هذا الترقيم يستخدم داخلياً في عمليات التشغيل والصيانة والمتابعة لخطوط المشتركين في الشبكة الهاتفية . ويقوم مهندسوالمقاسم بالتأكد من وضع العلامات الخاصة بأرقام الوحدات والجرارات في المقاسم منذ إنشائها .

ويتصل الكرت بدارات أخرى في المقسم إحداها دارة الجرس . وتتصل جميع وحدات التحكم بالخطوط الهاتفية (LCM) ببعضها عن طريق وحدات الشبكة الداخلية للمقسم .


شكل (٢١) : وحدات التحكم بالترنكات الرقمية

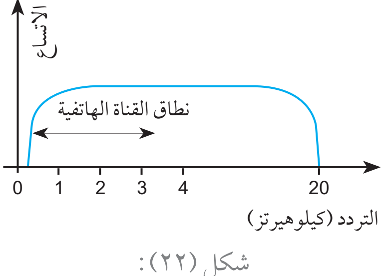
٣ . **وحدات التحكم بالترنكات الرقمية DTC** : يرتبط بالشبكة الداخلية للمقسم وحدات تدعى وحدات التحكم بالترنكات الرقمية DTC ، وتحوي كل وحدة على كرتات خاصة تستخدم لتشغيل PCM ، كما في الشكل (21) :



تعمل هذه الوحدات على تشغيل ال E1's والذي يتكون من 30 قناة هاتفية .

LCU Line Controller Unit
DTC Digital Trunck Controller
LCM Line Control Module

بالرغم من امتداد الترددات السمعية لغاية 20 كيلوهيرتز فقد اعتمد النطاق من 300Hz إلى 3400Hz لتمثيل القناة الهاتفية ، حيث وجد أن معظم الطاقة الصوتية تتركز ضمن هذا النطاق كما هوموضح في الشكل (22) :



شكل (٢٢) :

لذلك فإنه يتم تصفية الإشارة الصوتية المارة من المرسل (الميكروفون) عند 4000Hz وطبقاً لنظرية أخذ العينات فإن هذه الإشارة الصوتية تحتاج إلى قناة ذات عرض ترددي بمقدار ضعف تردد الإشارة المنقولة ؛ أي 8000Hz ، وهذا العرض الترددي أصبح مقياساً عالمياً في تحديد قنوات الاتصال كما سنرى فيما بعد .

ويوجد نظامان عالميان لتجميع القنوات كالآتي :

- إطار التجميع (E1)، وهو المعتمد أوروبياً، ويتكون من 32 قناة توزع على النحو الآتي :

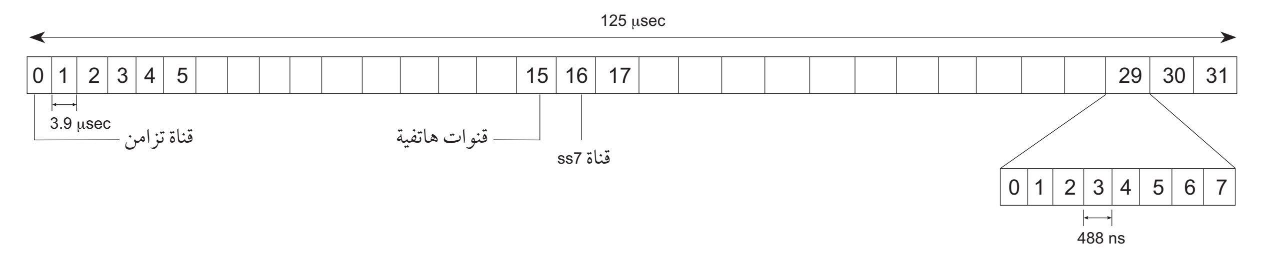
30 قناة هاتفية تستخدم لنقل الإشارات الصوتية أوالمعلوماتية وقناة للتزامن، والأخرى لنظام إشارة SS7.

يقسم الزمن المخصص 32 قناة والذي يساوي 125µsec .

يحسب زمن كل قناة كالآتي :

$$\frac{125\,\mu\,\text{sec}}{32} = 3.9\,\mu\text{sec}$$

تتكون كل شريحة زمنية من 8 خانات ثنائية (bit)، وبذلك يكون الزمن المخصص لكل خانة $\frac{3.9\,\mu\,\text{sec}}{32} = 488\text{ns}$ لكل خانة ثنائية واحدة، كما في الشكل (23).




شكل (٢٣): إطار التجميع E1

ولأن تردد أخذ العينات للإشارة الصوتية حسب نظرية أخذ العينات هو 8000Hz، ويوجد في كل شريحة 8 ثنائيات.

فإن تردد كل قناة 8 ثنائيات x 8000Hz = 64KHz وهو معدل تمرير المعلومات في القناة. وإذا احتسبنا هذا المعدل لجميع القنوات التي يتكون منها ال E1 فإن معدل تمرير المعلومات في الـ E1 كالآتي :

32 (قناة) x 64KHz = 2.045Mbps

إطار التجميع (T1)، وهوالمعتمد أمريكياً : يتكون من ٢٤ قناة تستخدم لنقل الإشارات الصوتية أوالمعلوماتية ويضاف في كل أطار خانة ثنائية واحدة (Bit) تدعى خانة تزامن الإطار Framing bit وبهذا يكون معدل نقل المعلومات في هذا النظام كالآتي :

[ 24 قناة (شريحة زمنية) x 8 ثنائيات] +1 = 193 ثنائية

193 ثنائية x 8000Hz = 1.544Mbps




شكل (٢٤): إطار التجميع T1

ويعتمد وجود وحدات التحكم بالخطوط الهاتفية LCM في المقسم على وظيفة المقسم في الشبكة الهاتفية فمثلاً لا يمكن أن تحتوي مقاسم العبور (المقاسم الوطنية أو الدولية) والتي وظيفتها تسيير المكالمات بين المقاسم المحلية على مثل هذه الوحدات، في حين يتوفر بها عدد كبير من الوحدات الخاصة بالتحكم بالترنكات الرقمية DTC.

تستخدم شركة الإتصالات الفلسطينية إطار التجميع E1.

### أنظمة البرمجيات الخاصة بالمقسم

هي برمجيات خاصة تسهل المهام الآتية:

١. عمل الإعدادات اللازمة لأرقام الخطوط وربطها بأرقام الهواتف في الشبكة وكذلك الإعدادات اللازمة للوصلات التراسلية ولأنظمة الإشارة SS7.
٢. إظهار المشكلات الخاصة بأي وحدة من الوحدات التي يتكون منها المقسم.
٣. تسجيل وتوضيح المشكلات الخاصة بالوصلات التراسلية الخارجية.
٤. إظهار وتوضيح المشاكل الخاصة بالمشترك.
٥. تعريف المسارات الخاصة بالمكالمات من خلال القنوات المتاحة (PCM channels).

### أنظمة الفوترة

وهي عبارة عن نظام تسجيل للمكالمات الصادرة من المقسم أوالمارة من خلاله ويرتبط النظام بقاعدة بيانات تحتوي على الحقول الآتية:

١. الرقم الطالب. ٢. الرقم المطلوب. ٣. وقت بدء المكالمة.
٤. تاريخ بدء المكالمة. ٥. مدة المكالمة.

وتخزن هذه المعلومات على قرص صلب (Hard disk) في المقسم، ويتم نقله إلى أجهزة خاصة بالتحليل وقراءة المكالمات لتحويلها فواتير للمشتركين، وتتم عملية نقل المعلومات عادة بالطرق الآتية:

- نقل المعلومات عن طريق شبكة البيانات.
- قراءة المعلومات بوساطة أشرطة مغناطيسية خاصة ومن ثم نقل هذه الأشرطة ليتم تحليلها، ويبين الشكل (25) أحد أنظمة قراءة الفوترة والذي يعتمد على الأشرطة المغناطيسية في المقاسم.



شكل (٢٥): نظام فوترة

### أنظمة الترقيم

لكل هاتف مشترك رقم يميزه عن الأرقام الأخرى، ولكل مقسم محلي داخل الشبكة مدى رقمي معين حسب خطة ترقيم تقوم وزارة الاتصالات في كل دولة بتنظيمها.

ويعتمد عدد الأرقام في المدى الرقمي لكل مقسم على سعة المقسم فمثلاً المدى الرقمي لمقسم رام الله المحلي المركزي هو كالآتي (295xxxx , 296xxxx,297xxxx, 298xxxx)؛ مما يعني توفر 40000 رقم هاتفي أما في المقاسم التي تخدم بلدات صغيرة نسبياً فالمدى الرقمي سيكون محدوداً نوعاً ما .

ولتنظيم عملية الترقيم تقسم المساحة التي تغطيها الشبكة الهاتفية إلى عدة مناطق اتصال، تعطى كل منطقة رمزاً معيناً (Code) .

ففي فلسطين نظمت رموز المناطق كما هوموضح في الجدول الآتي :

| | |
|---|---|
| منطقة جنين | 04 |
| منطقة نابلس وطولكرم | 09 |
| منطقة الوسط وجنوب الضفة | 02 |
| منطقة غزة | 08 |

| xxxx | 295 | 02 | 970 |
|---|---|---|---|
| رقم الهاتف | رقم المقسم | رمز المنطقة | الرمز الدولي |

ولكل دولة في العالم رمز يسمى الرمز الدولي يقوم الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU-T) بتنظيمه ويستخدم أثناء عملية الاتصال الدولي للاستدلال على الدولة، ومن ثم الشبكة ألهاتفية للمشترك المطلوب . فالرمز الدولي لفلسطين هو970، وللأردن 962، ولمصر 20، ولتونس 216 .

**نظام الإشارة للقناة المشتركة (Common Channel Signaling System No. 7 (SS7 or C7)**

وهو مجموعة من البروتوكولات تستخدم في التحكم في عملية بدء المكالمة وتحديد مسارها بين المقاسم وإنهائها أعتماداً على شبكة من القنوات الرقمية الموصلة بين المقاسم من خلال تبادل رسائل إشارات خاصة (Signaling messages) .

وكانت شركة AT&T الأمريكية أول من اخترع هذا النظام عام 1975م والذي أعتمده الاتحاد الدولي للاتصالات فيما بعد لينتشر عالمياً .

وتستخدم هذه الآلية للمكالمات التي تعبر بين المقاسم .

ويتميز هذا النظام بالعديد من المزايا والتي أدت إلى انتشاره عالمياً أهمها :

١ . سرعة عالية في عملية التجهيز للمكالمة Call Setup .

٢ . فاعلية أكثر في استخدام القنوات الصوتية .

٣ . تدعم الشبكة الذكية وخدماتها الخاصة، مثل :

- الرقم المجاني Toll Free، وبهذه الخدمة لا يتم احتساب المكالمة على المشترك كالمكالمات العادية .
- خدمة المكالمات مسبقة الدفع، مثل خدمات الهواتف مسبقة الدفع، أوما يسمى في الاتصالات الفلسطينية بخدمة المحسوب، وكذلك بطاقات الدفع المسبق .

الشبكة الذكية : هي مجموعة أنظمة متطورة تتفاعل لتعطي إمكانية أكبر في التحكم في المكالمات الهاتفية لتفعيل خدمات خاصة .

الأرقام المجانية في فلسطين تبدأ بالمدى الرقمي 1800xxxxxx.

٤ . فعالية في التحكم في المكالمات الهاتفية ومنع غير المرغوب بها .

٥ . توفير آلية للتحكم بالشبكة الهاتفية فعند وجود مشكلة في الاتصال بين مقسمين مثلا يقوم مهندسو المقاسم بتحليل رسائل الإشارات لمعرفة المشكلات وحلها ، ويتكون هذا النظام من :

- أداة ربط الإشارة (Signaling Link) : هي قنوات ذات اتجاهين تستخدم لتمرير الإشارات بين عناصر الشبكة بمعدل نقل معلومات 64 كيلوبت/ الثانية .
- نقطة الإشارة (Signaling point) : في شبكة إشارة القناة المشتركة SS7 ، يمثل كل مقسم برقم محدد وعالمي يدعى رمز نقطة الإشارة signaling point code ، ويحدد كل رمز وظيفة المقسم داخل الشبكة ، وهناك ثلاثة أنواع من نقاط الإشارة :

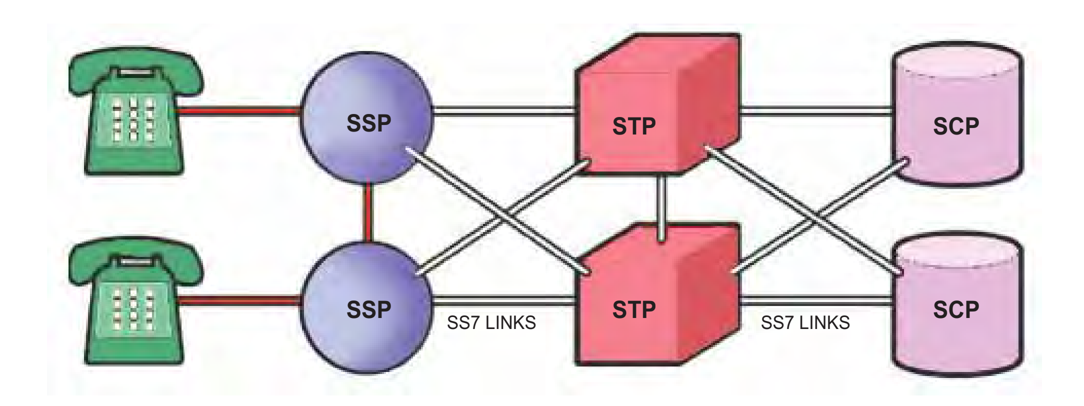
SSP Service Switching Point
STP Service Transfer Point
SCP Service Control Point

١ . نقطة تحويل الخدمة SSP : تستخدم في المقاسم المحلية .

٢ . نقطة نقل الخدمة STP : تستخدم في مقاسم العبور أوالمقاسم الدولية التي تقوم بتسيير المكالمات الهاتفية بين المقاسم .

٣ . نقطة التحكم بالخدمةSCP : تستخدم في آلية العمل الخاصة بربط الشبكة الذكية بشبكة الاتصالات العامة .

ويتم وصل جميع المكونات عن طريق أداة ربط الإشارة كما هوموضح بالشكل (26) :




شكل (٢٦) : نظام الاشارة للقناة المشتركة

**نشـــاط (٣):**

راجع مركز خدمات المشتركين لشركة الاتصالات في منطقتك لمعرفة الخدمات التي تقدمها الشبكة .

## المقسم الفرعي الداخلي الخاص PBX

PBX Private Branche Exchange

ويستخدم في المؤسسات والشركات وتتصل به شبكة داخلية صغيرة تمتد عادة في مبنى واحد، وتمتاز مثل هذه المقاسم بسعة محدودة وأنواع مختلفة، واختلاف الخدمات التي يمكن أن توفرها، ويمكن أن يتسع الواحد منها لمئة رقم أوأكثر . ويلزم لربط هذه الشبكة الداخلية الصغيرة مع الشبكة الهاتفية العامة ما يأتي :

١ . مدى رقمي محدد يتم تعريفه على المقسم المركزي، ويتم التعامل معه كأرقام شبكة داخلية خاصة .

٢ . وصل المقسم الفرعي الداخلي PBX بالمقسم المركزي إما بعدد خطوط هاتفية عادية او بإطار E1 اوأكثر .

وتقوم البنوك والمؤسسات بالاستفادة من مميزات هذه الشبكات، وهي :

١ . لا تدفع المؤسسات والبنوك لشركة الاتصالات نظير المكالمات الداخلية بين أرقام الشبكة الداخلية وإنما يلزم ذلك للمكالمات الخارجة منها .

٢ . إمكانية التحكم بأرقام الشبكة الداخلية من قبل الفني التابع للمؤسسة أوالشركة . فمثلا يمكن فصل إمكانية الاتصال الوطني، أوالدولي عن أي من الخطوط التابعة للشبكة الداخلية على المقسم الداخلي مباشرة، في حين يلزم عند وجود خطوط مباشرة القيام بذلك من قبل شركة الاتصالات .

٣ . إمكانية إصدار تقارير عن حركة الاتصال وفواتير داخلية للمكالمات الحاصلة دون الرجوع إلى شركة الاتصالات .

٤ . يمكن أن تعمل بها أنواع مختلفة من أجهزة الهاتف من العادية والرقمية وأجهزة نقل الصورة وأجهزة نقل البيانات .

ويلاحظ انه يلزم للاتصال من الشبكة الداخلية إلى أي رقم آخر داخل هذه الشبكة لثلاث أو أربع خانات أرقام فقط .

## سيناريو المكالمات الهاتفية

سيناريوالمكالمة الهاتفية في حالة كان الرقم المطلوب في نفس المقسم الذي ينتمي له الرقم الطالب، ويمكن توضيح ذلك بالخطوات الآتية :

١ . في حالة رفع السماعة يزود المقسم الهاتف بتيار 50mA وفولتية 48v- .

٢ . تكتشف وحدات التحكم في المقسم هذه الحالة، وتقوم بارسال نغمة الطلب (Dial Tone)، وهي النغمة التي نسمعها عند رفع سماعة الهاتف . وتعني أن المقسم جاهز لإستقبال رقم الهاتف المطلوب، وهذه الإشارة تتكون من ذبذبتين إحداهما 350Hz والأخرى 440Hz .

٣ . بعد طلب المشترك الرقم المطلوب تقوم وحدة التحكم بتحديد ما إذا كان الرقم المطلوب يقع ضمن المدى الرقمي للمقسم نفسه أم لا وإذا كان تابعاً للمقسم نفسه فتسمى المكالمة مكالمة محلية .

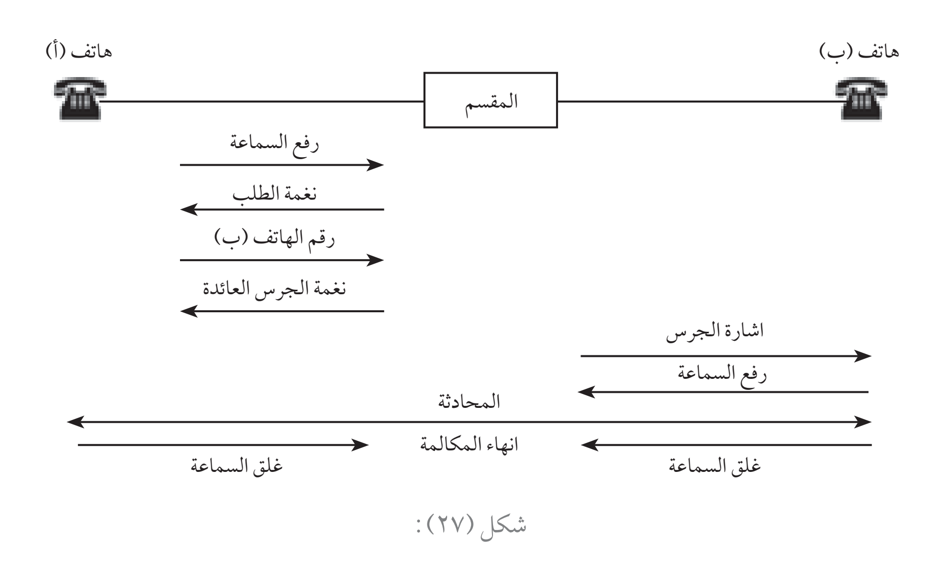
٤ . تقوم وحدة التحكم بفحص قاعدة البيانات لتستطيع ربط الهاتف المطلوب برقم خطه في المقسم .

٥ . يتم فحص حالة الرقم المطلوب فإذا كان غير مشغول تقوم وحدة التحكم بأرسال إشارة الجرس (Ringing signal)، وهي إشارة كهربائية متردده AC بفرق جهد 90 فولتاً، وهذه الإشارة قادرة على تشغيل دارة الرنين في جهاز الهاتف للرقم المطلوب، وفي نفس الوقت ترسل وحدة التحكم نغمة الجرس العائد (Ring Back tone) للمشترك الطالب .

٦ . عند رفع سماعة هاتف الرقم المطلوب تفتح دارة الكلام بين خط هاتفه وخط الهاتف الطالب، ومن ثم تنقل الإشارات الصوت عن طريق وحدة التحكم .

٧ . إذا كان الخط مشغولا فإن وحدة التحكم في المقسم تقوم بإصدار نغمة خاصة تدعى نغمة الخط المشغول، وهي نغمة يعيدها المقسم إلى المشترك عندما يطلب رقماً مشغولاً، وتتكون من ذبذبتين 480Hz و 620Hz وتكون هذه النغمة متقطعة على فترات بمقدار نصف ثانية .

٨ . ويتم إنهاء المكالمة بعد تحسس المقسم لإغلاق السماعة عند أحد الطرفين، ويوضح الشكل (27) هذه الخطوات .




شكل (٢٧) :

**نشـــاط (٤):**

في حال رفع السماعة يزود المقسم الهاتف بفولتية 48V-، لماذا؟ .

في حالة عدم وجود الرقم المطلوب في نفس المقسم الذي ينتمي له الرقم الطالب :

١ . في حالة رفع السماعة تكتشف وحدات التحكم في المقسم هذه الحالة، وتقوم بإرسال نغمة الطلب Dial tone كما في الحالة السابقة .

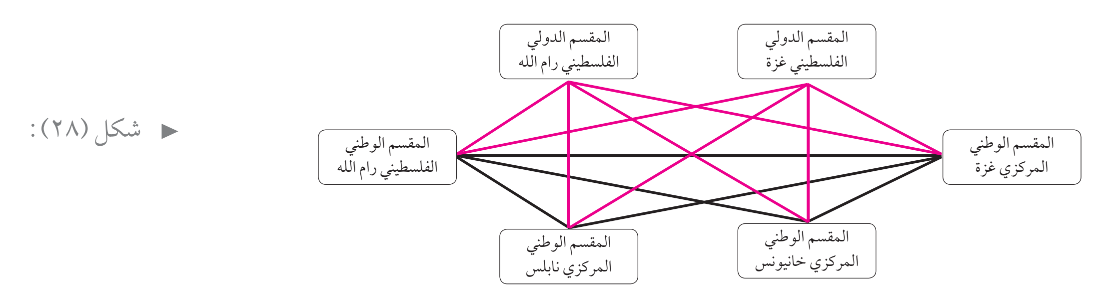
٢ . بعد طلب المشترك الرقم المطلوب تقوم وحدة التحكم بتحديد أن الرقم المطلوب لا يقع ضمن المدى الرقمي للمقسم، ويقع ضمن مدى رقمي لمقسم آخر .

٣. تقوم وحدة التحكم بتفعيل دارة إشارات SS7 مع المقسم الذي ينتمي إليه الهاتف المطلوب إما بشكل مباشر إذا توفر رابط إشارة مباشر مع المقسم المطلوب باستخدام نظام إشارة SSP . أوعن طريق مقسم عبور باستخدام نظام اشارة STP أذا لم يتوفر رابط مباشر، وكذلك الحال في تمرير المكالمات الدولية عن طريق المقاسم الدولية في الشبكة.

٤. ترسل الإشارات متضمنة الرقم المطلوب، ويتم تفعيل وحدة التحكم في المقسم المطلوب لإرسال نغمة الجرس إذا لم يكن الرقم المطلوب مفصولاً أومشغولاً .

٥. يتم فتح قناة هاتفية بمعدل تمرير 64 كيلوبت لكل ثانية . من خلال مجموعة الـE1's المعرفة لتمرير الحركة الهاتفية على المقسم المطلوب. وترتبط المقاسم ببعضها بشبكة من الوصلات التراسلية، ويوضح الشكل (28) مقاسم العبور والمقاسم الدولية في شبكة الاتصالات الفلسطينية :

◄ شكل (٢٨):




٦. عند إنهاء المكالمة تقوم وحدة التحكم في المقسم الذي ينتمي له الرقم المغلق لسماعته أولاً، ببعث إشارة من خلال رابط الإشارة للمقسم الآخر لإغلاق القناة الهاتفية وإنهاء المكالمة.

**منظومة التراسل (Transmission Media).**

تشكل الوصلات التراسلية ذلك الجزء من الشبكة الذي تقوم مهمته على إتمام عملية ربط المقاسم فيما بينها، ولهذا توجد غرفة تدعى غرفة التراسل بجانب أي مقسم مهما كان نوعه أومهمته داخل الشبكة الهاتفية، وهي عبارة عن غرفة مكونة من أجهزة تراسل ووحدات خاصة تكون نهاياتها موصلة بالوصلات التراسلية.

وتحتوي غرفة التراسل على أنظمة التجميع، والتي تكون مهمتها تجميع المعلومات على شكل قابل للنقل عبر الأنواع المختلفة للوصلات التراسلية، وعملية التجميع للمعلومات المرسلة من المقاسم التماثلية والرقمية ضرورية لزيادة السعة عن طريق دمج عدد كبير من القنوات على نفس خط النقل؛ مما يؤدي إلى تقليل تكلفة النقل.

## أنظمة التجميع

### نظام التجميع التماثلي

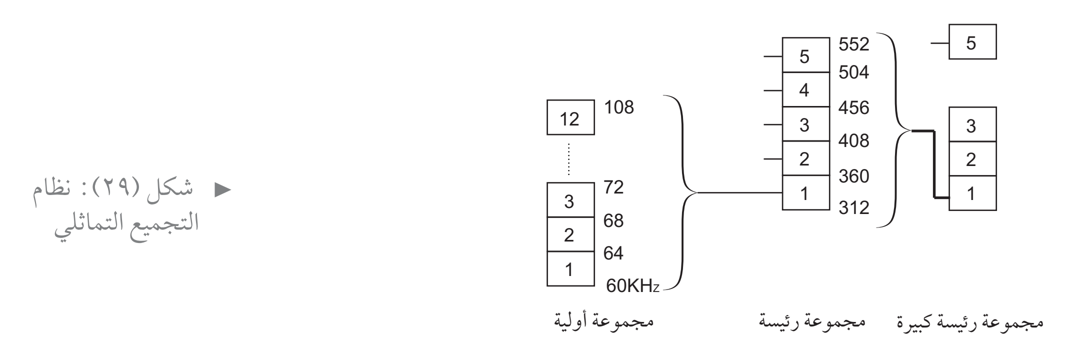
هونظام يعتمد على تقسيم النطاق الترددي (FDM) ، وكان يستخدم قديماً، وفيه يتم التجميع على النحو الآتي :

- يتم تجميع كل 12 قناة للحصول على المجموعة الأولية بنطاق ترددي من 60KHz إلى 108KHz.

- يتم تجميع كل خمس مجموعات أولية للحصول على مجموعة رئيسة تحوي على 60 قناة. بنطاق ترددي من 312KHz إلى 552KHz .
- يتم تجميع كل خمسة من هذه المجموعات الرئيسية للحصول على مجموعة رئيسية كبيرة تحتوي على 300 قناة، وفي جهة الاستقبال يتم إعادة الحصول على القنوات بالمرور في المراحل نفسها بشكل عكسي. لاحظ الشكل (29).

عيوب نظام التجميع التماثلي:

- إمكانية التداخل ما بين القنوات.
- محدودية عدد القنوات المتاحة.
- القابلية للتنصت وعدم السرية.
- حجم الأجهزة الكبير.




شكل (٢٩): نظام التجميع التماثلي

## أنظمة التجميع الرقمية

هي أنظمة تعتمد على التقسيم الزمني (TDM)، وتتميز عن الأنظمة التماثلية بالآتي:

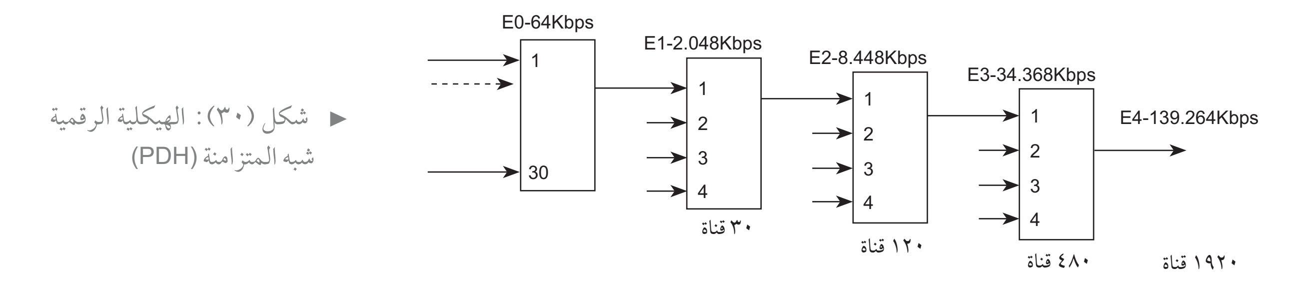
- أقل عرضة للتداخل بين قنواتها.
- حجم الأجهزة صغير نسبياً.
- إمكانية التجميع لعدد أكبر من القنوات.
- إمكانية نقل البيانات.
- أقل عرضة للتنصت.

ويوجد نوعان من أنظمة التجميع الرقمية:

### ١ . الهيكلية الرقمية شبه المتزامنة (PDH)

يعتمد هذا النظام على مبدأ أساسي وهو تطوير معدل سرعة نقل المعلومات، ففي النظام الأوروبي يتم تجميع الـ E1's بمعدل نقل معلومات 2048kbps على مراحل كالآتي:

- المرحلة الأولى: تجميع 4E1's بمعدل نقل 8,448Kpbs وتشكيل ما يسمى E2 .
- المرحلة الثـانية: تجميع 4E2's بمعدل نقل 34,368Kpbs وتشكيل ما يسمى E3 .
- المرحلة الثـالثة: تجميع 4E3's بمعدل نقل 139,264Kpbs وتشكيل ما يسمى E4 .




▶ شكل (٣٠): الهيكلية الرقمية شبه المتزامنة (PDH)

وبنفس المبدأ يتم العمل بالنظام الأمريكي (TI)، ويتم فك التجميع (De-multiplexing) بالرجوع عكسياً بالمراحل المذكورة أعلاه.

من أهم عيوب هذا النظام:

١. ضرورة المرور بجميع المراحل عكسياً للحصول على الإطار التأسيسي E1 (2.048Mbps)، ولا يمكن تخطي أية مرحلة.
٢. عدم اعتمادها على معايير موحدة عالميا لربطها مع الألياف البصرية.
٣. الحاجة إلى استخدام مجمعات (multiplexers) منفصلة في أثناء تطبيق المراحل المختلفة من الـ 2Mpbs وحتى 140Mpbs.
٤. لا يتوافق النظام الأمريكي والأوروبي من خلال نظام PDH واحد.
٥. صعوبة في عملية الإدارة واكتشاف المشكلات.
٦. لا يمكن الوصول لمعدل نقل معلومات أكثر من 140Mpbs.

### ٢. الهيكلية الرقمية المتزامنة (SDH)

ويشبه هذا النظام المطبق أوروبياً النظام الأمريكي الذي يدعى (الشبكة البصرية المتزامنة) SONET، وقد تم التغلب في هذا النظام على العيوب التي عانت منها أنظمة التجميع السابقة، وتسمى الوحدات التي تقوم بعملية التجميع والتقسيم للمعلومات من خلال الـ SDH بنماذج النقل المتزامنة (STMs) وهي كالآتي:

| | |
|---|---|
| PDH | Pelsiochronous Digital Hierarchy |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy |
| SONET | Synchronous Optical Network |
| STM | Synchronous transport modules |

- STM1 : 155.52 Mbps ويمكن أن يتسع لنقل 63E1's.
- STM4 : 622.08 Mbps ويمكن أن يتسع لنقل STM14= 63E1'sX4
- STM16 : 2.488 Gbps
- STM64 : 9.9539Gbps

ويتميز بالخصائص الآتية :

١ . معايير الوصل بين أجهزة الـ SDH والكوابل البصرية موحدة عالمياً .

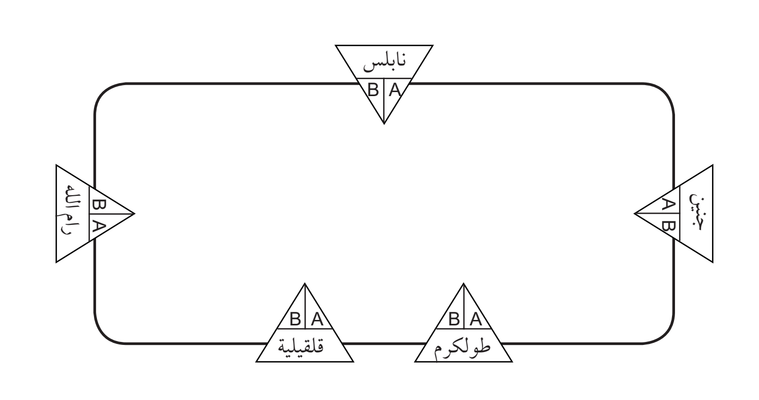
٢ . سهولة أكبر للتحكم واكتشاف المشكلات .

٣ . عدم الحاجة إلى المرور بجميع المراحل عكسياً عند حاجتنا للإطار التأسيسي E1 (2.048Mbps)، ويمكن الحصول على الإطار في أي مرحلة من مراحل التجميع .

٤ . يمكن تجميع النظام الأمريكي (T1) والأوروبي (E1) من خلال وحدة STM واحدة .

٥ . معدل النقل الكبير خصوصاً في مرحلة ال STM64 .

٦ . استخدام آليات الحلقة Ring في التوصيل وهي آلية تتميز بالقدرة على وصل جهازي STM من الطرفين عن طريق مسارين مختلفين فإذا تم قطع أحد المسارين يبقى المسار الآخر عاملاً ، وهونظام متطور تقوم شركة الاتصالات الفلسطينية باعتماده في شبكتها ، كما ويوضح الشكل (31) الحلقة .




شكل (٣١) : الهيكلية الرقمية المتزامنة (SDH)



شكل : (٣٢) احدى وحدات ال STM1 الموجودة في قسم التراسل

## الوصلات التراسلية

تقسم طرق التوصيل أوالوصلات التراسلية إلى :

١ . طريقة التوصيل عبر الكوابل النحاسية .

٢ . طريقة التوصيل عبر الميكروويف .

٣ . طريقة التوصيل عبر الألياف البصرية .

### الكوابل النحاسية

كان يعتمد عليها قديماً في عملية نقل الإشارات بين المقاسم أما اليوم فاستخدامها نادر ويقتصر في هذا المجال على الربط بين بعض المقاسم الصغيرة القديمة والمقسم الرئيس .

### الميكروويف Microwave

وهي طريقة تراسل تعتمد على وجود خط نظر (Line of site) بين هوائيي الإرسال والاستقبال .

في فلسطين تم بناء شبكة ميكروويف واسعة على امتداد الوطن لربط المقاسم ببعضها كطريقة بديلة للربط عند حصول أية مشكلات ، أوقطع في شبكة تمديدات الألياف البصرية .

### الألياف البصرية

تعد الألياف البصرية أفضل الوسائط التراسلية بين المقاسم نظراً للمزايا العديدة التي تتمتع بها ، وانتشار شبكات الألياف البصرية في بلد ما يعكس مدى تطور قطاع الاتصالات في ذلك البلد .

في فلسطين قامت شركة الاتصالات الفلسطينية بإنجاز البنية الأساسية للتمديدات اللازمة لشبكة كوابل بصرية بسعات كبيرة، وروعي في إنشائها أن تصل إلى جميع المدن والقرى والتجمعات السكانية .

وتصمم الشبكات الهاتفية عادة بحيث تحتوي على مسارات بديلة تسمح باستمرار الاتصال بين مقسمين في حال تعرض الوصلة التراسلية بينهما للقطع .

**نشـــاط (٥):**

بالتنسيق مع شركة الاتصالات الفلسطينية يقوم الطلاب برفقة مدرسهم بزيارة للشركة .

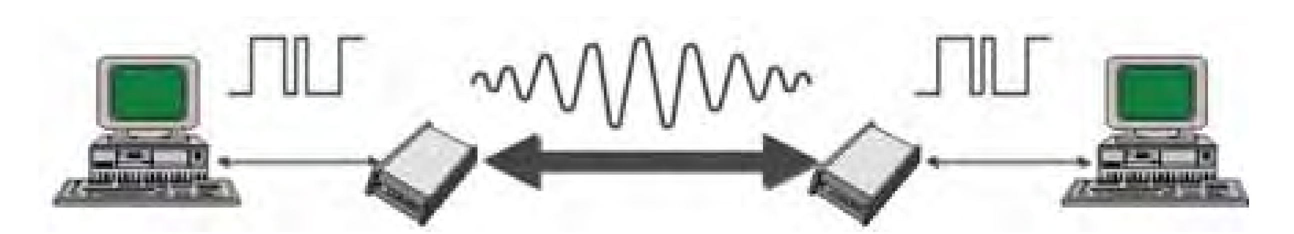
## تطبيقات خاصة في الشبكة الهاتفية

### المكالمات من جهاز المودم

ظهر المودم كجهاز يحول المعلومات الرقمية من الطرف المرسل إلى إشارات تماثلية قابلة للنقل عبر الشبكة الهاتفية ، أما في الطرف المستقبل فيقوم بتحويل الإشارات التماثلية إلى معلومات رقمية يمكن للحواسيب التعامل معها ، حيث يلزم وجود جهاز مودم عند طرفي الاتصال . كما في الشكل (33) .

ظهرت أولى أجهزة المودم والتي كانت تعمل بسرعة 300 بت/ ثانية وقد كانت تلك سرعة مناسبة في ذلك الوقت ، ولكن مع تطور الحواسيب وإزدياد حجم المعلومات التي تعالجها كان لابد من زيادة سرعة نقل البيانات عبر المودم .

كلمة Modem هي اختصار لكلمتي
Demodulator - Modulator



شكل (٣٣): استخدام المودم

## كيف يعمل الموديم

١. عندما يطلب المستخدم اتصالا مع حاسب آخر فإن المودم يكمل الدارة الكهربائية عبر الوصلة الهاتفية الموصولة به، ويرسل إشارة طلب الرقم (DTMF) تماماً كما يفعل الهاتف العادي حيث يرسل المودم إلى المقسم رقم الهاتف المطلوب.

٢. يقوم المقسم بإرسال إشارة رنين إلى الرقم المطلوب، حيث يتحسس المودم المطلوب إشارة الرنين ويستقبل الاتصال تماماً كما لو رفعنا سماعة هاتف وهو يرن، ومن ثم يقوم المقسم بربط دائرة المودم المتصل بدائرة المودم المطلوب، وبهذا يصبح لدينا دائرة مغلقة بين جهازي المودم، وتشكل هذه الدارة قناة اتصال بينهما.

٣. يقوم الحاسب المتصل بإرسال المعلومات الرقمية التي يريد توصيلها إلى الطرف الآخر على شكل إشارات مضمنة رقمياً ذات ترددات أقل من 4KHz، وهو النطاق الترددي المسموح به على خط الهاتف.

٤. تنتقل الإشارة التماثلية عبر الشبكة الهاتفية إلى وجهة الإتصال حيث يستقبلها المودم هناك وبناء على التضمين المستخدم في نقل الإشارة يتم تحويل الإشارة التماثلية إلى إشارة رقمية من جديد ويمررها بدوره إلى جهاز الحاسب المرتبط به.

## الفاكس

هوجهاز يوصل مع خط الهاتف، ويستخدم لنقل صور الوثائق والنصوص من مكان لآخر بوساطة الشبكة الهاتفية.

## كيف يعمل الفاكس

١. يقوم الفاكس بإنشاء اتصال تماما كما يفعل الهاتف حيث يرسل نغمات DTMF تمثل رقم الفاكس المرسل اليه.

٢. يقوم المقسم بإرسال نغمة رنين للخط الهاتفي المطلوب والمرتبط بجهاز فاكس والذي يقوم بإغلاق دارة الاتصال بينه وبين المقسم (تماماً كما لو أن أحدهم رفع سماعة الهاتف في الإتصال الهاتفي)، ومن ثم يقوم المقسم بربط دارتي المرسل والمستقبل؛ مما يشكل قناة اتصال بينهما.



شكل (٣٤): جهاز فاكس

٣. يقوم الفاكس المرسل بإرسال نغمة تعريفية وذلك ليعرف الفاكس المستقبل أن مصدر الاتصال هوجهاز فاكس، وليس اتصالاً هاتفياً عادياً، وتأتي النغمة الترحيبية من الفاكس المرسل إليه، وتؤكد النغمة الترحيبية للمرسل بأن المستقبل هوجهاز فاكس يتم بعد ذلك تبادل لمعلومات كلا الجهازين من حيث سرعة كل منهما ودقة القراءة (resolution) وما إذا كانا يدعمان خوارزميات ضغط المعلومات (Data Compression) واسم الشركة التي يتبع لها الفاكس وحجم الصفحة المراد إرسالها وطبيعة الترميز المستخدم.

من المدهش أن براءة اختراع الفاكس صدرت قبل اختراع الهاتف، حين سجل الأسكتلندي ألكسندر باين اختراعه عام 1843، أي قبل ظهور الهاتف بثلاث وثلاثين سنة حين سجل في براءة الاختراع المبادئ الأساسية التي بنى عليها فيما بعد الفاكس الذي نعرفه إلا أنه لم يخرج إلى حيز الوجود في ذلك الوقت.

٤. يبدأ الفاكس المرسل بقراءة الورقة المراد إرسالها، وذلك بمرور مجس ضوئي صغير (light sensor) فوق الورقة بحيث يغطي مساحة صغيرة (ربع ميليمتر مربع مثلاً) ويقوم المجس بقراءة اللون في تلك المساحة فإذا كانت سوداء فإنه يعبر عنها بإرسال نغمة بتردد 1300Hz، أما إذا كانت بيضاء فإنه يرسل نغمة أخرى بتردد 800Hz، وهكذا يمر المجس فوق الورقة من بدايتها إلى نهايتها، ويقرأ في كل خطوة اللون في المساحة الصغيرة التي يكون فوقها ويرسل النغمات تبعاً للون المقروء، وهكذا حتى يتم قراءة كامل الورقة.

٥. تنتقل النغمات عبر الشبكة الهاتفية إلى الفاكس المستقبل والذي يقوم بدوره بترجمة النغمات إلى نقاط سوداء وبيضاء تبعاً لتردد النغمة المستقبلة وتطبع هذة النقاط على ورقة بوساطة رأس كتابة يتحرك بنفس الأسلوب الذي يتحرك فيه المجس الضوئي في الفاكس المرسل.

وتعتمد الأجهزة الحديثة على تقنيات مشابهة لطابعة الحاسوب التي تستعمل الحبر أوالليزر.

قام الاتحاد العالمي للاتصالات بأصدار عدد من اللوائح والبروتوكولات التي نظمت عمل أجهزة الفاكس في أربعة أجيال، كل جيل لديه خصائص معينة، مثل السرعة والترميز المستخدم، وغيرها بحيث تستطيع أجهزة الفاكس المنتمية إلى نفس الجيل إرسال واستقبال، الوثائق والنصوص فيما بينها، كما أن الفاكس يستطيع مراسلة فاكس أخر من جيل سابق، معظم أجهزة الفاكس المنتشرة حاليا في العالم هي من الجيل الثالث، أما الجيل الرابع فسوف يكون أسرع في الإرسال والاستقبال، كما أن أجهزة الجيل الرابع تستطيع التراسل رقمياً عبر الخطوط الرقمية المدمجة ISDN.

## تقنية الخطوط المؤجرة Leased Line

وهي خدمة خاصة تقوم شركة الاتصالات بتقديمها عن طريق تشغيل دارة مخصصة بين موقعين محددين بسرعة محددة عن طريق أجهزة خاصة تحدد السرعة.

تؤمن الخطوط الهاتفية المؤجرة بين موقعين، توصيلاً مستمراً، مختصاً ومباشراً. ويتم عادة تأجير هذه الخطوط من مزود خدمة الهاتف الذي يوفر أجهزة وأدوات خاصة للمحافظة على الإشارات المنقولة، عبر هذه الخطوط من التداخل، وتكون كلفة استخدامها مرتفعة مقارنة بتقنية الاتصال الهاتفي العادي، غير أن هذه الكلفة

لا تعدّ مهمة إذا كان المستأجر، خاصة الشركات والمؤسسات، ينقل كمية كبيرة من البيانات والمعلومات أويحتاج في مكاتبه المختلفة، إلى اتصال مستمر بقواعد بياناته.

تحتاج الخطوط المؤجرة إلى جهاز خاص شبيه بجهاز المودم يدعى (CSU/DSU)، يقع تركيزه عند نهاية كل خط. ويتركب هذا الجهاز أساسا من وحدتين: وحدة خدمة القناة (CSU) للتحكم في الخط الهاتفي المستأجر، ووحدة خدمة البيانات (DSU) للتحكم في تهيئة البيانات ونقلها عبر الخط.

CSU Channel service Unit
DSU Data Service Unit

عندما يزيد عدد الفروع لشركة معينة، ويطلب وصل الفروع بالمكتب الرئيس فإنه ستظهر الحاجة إلى تقنية أخرى أقل كلفة وأكثر سرعة، ومن هنا جاءت تقنية نقل الإطار (Frame Relay).

## تقنية نقل الإطار Frame Relay

تعدّ تقنية نقل الإطار من تقنيات تحويل الحزمة (Packet Switching)، وتسمى بهذا الاسم؛ لأن البيانات المرسلة يتم إرسالها على شكل وحدات تسمى إطارات Frames.

كما توفر هذه التقنية موثوقية عالية بسرعة نقل بيانات تتراوح بين 56 كيلوبت في الثانية إلى 45 ميجابت في الثانية. توفر هذه التقنية خدمة موجهة، ويتم ذلك بإعداد دارة ظاهرية دائمة (Permanent Virtual Circuit) بين الأجهزة المرسلة والمستقبلة تحدد المسار الذي تسلكه البيانات عبر شبكة نقل الإطار وتتمتع هذه التقنية بفعالية كبيرة، وذلك نظراً للآلية المبسطة بتوجيه البيانات والنظام المحكم للتحكم بتدفق البيانات.

**تحويل الحزمة:** نظام تحويل يتم فيه تجزأة البيانات إلى حزم Packets وارسالها بشكل منفصل بحيث لا يتم حجز قناة بين المرسل والمستقبل.

**دارة ظاهرية:** اتصال بين جهازين في شبكة تستخدم تحويل الحزمة.

إن الأجهزة في هذه التقنية هي المسؤولة عن معالجة الأخطاء، وليس الشبكة مما يخفف العبء عن الشبكة ويحسن أداءها وتنقسم شبكة نقل الإطار إلى قسمين: شبكات واسعة عامة وشبكات واسعة خاصة، ومن بعض مميزات هذه التقنية:

- توفر خيار أسرع وأقل تكلفة من شبكات ISDN والخطوط المستأجرة.
- القدرة على نقل أنواع مختلفة من الإشارات.
- الحاجة إلى إدارة أبسط وأقل تعقيداً من التقنيات الأخرى.

وتستفيد من مثل هذه التقنية الشركات والمؤسسات والبنوك والتي يوجد لها فروع كثيرة تنتشر في المدن، ويلزم نقل البيانات فيما بينها.

## شبكة الخدمات الرقمية المتكاملة ISDN

وهي خط هاتفي رقمي لنقل البيانات الرقمية حيث أصبح بإمكان المشترك الحصول على خدمات متكاملة (مكالمة هاتفية ونقل بيانات) على خط هاتفي رقمي واحد بالمقارنة مع الخط التماثلي التقليدي البطيء الذي يحتاج إلى تحويل البيانات الرقمية إلى تماثلية قبل بثها، وتستخدم خطوط الشبكة الهاتفية لإيصال خدمة الـ ISDN للمشتركين.

إن خطوط الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة (ISDN) محددة بنطاق ترددي، وتنقسم إلى عدة أنواع، أهمها:

- النوع الأول: هوخط الشبكة بالسرعة الابتدائية (PRI) وهو إطار E1 من 2 ميجا بت/ ثانية، ويحتوي على 30 قناة "B" لنقل البيانات وقناة (D) واحدة للتحكم ويستخدم لربط الأنواع المتقدمة من المقاسم الداخلية الخاصة PBX بالمقاسم المحلية، وفي عملية ربط الشبكة الهاتفية بشبكة الإنترنت.

PRI Primary Rate Interface
NT Network Terminal

- النوع الثاني: وهوخط الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة (ISDN) بسرعه 128 كيلوبت/ الثانية. وتقسم هذه السرعة إلى قناتين حاملتين، كل منها بسرعة 64 كيلوبت/ الثانية (وتعرف ًباسم قناة B). لذا تستطيع هذه الشبكة استخدام قناتين في الوقت ذاته، مكالمة صوتية واحدة ومكالمة بيانات واحدة بسرعة 64 كيلوبايت أومكالمة بيانات بسرعة 128 كيلوبايت. وتستخدم القناة الثالثة وهي قناة (D) للتحكم بالخط ويركب على هذا الخط عادة معدل طرفي (NT)، ويوفر الاتصال بين (ISDN) والأجهزة الموصولة بها. وينتشرهذا النوع لدى المشتركين مستخدمي الإنترنت بسرعة محدودة؛ لذلك تم البحث عن طرق اسرع لنقل البيانات من خلال الشبكة الهاتفية.

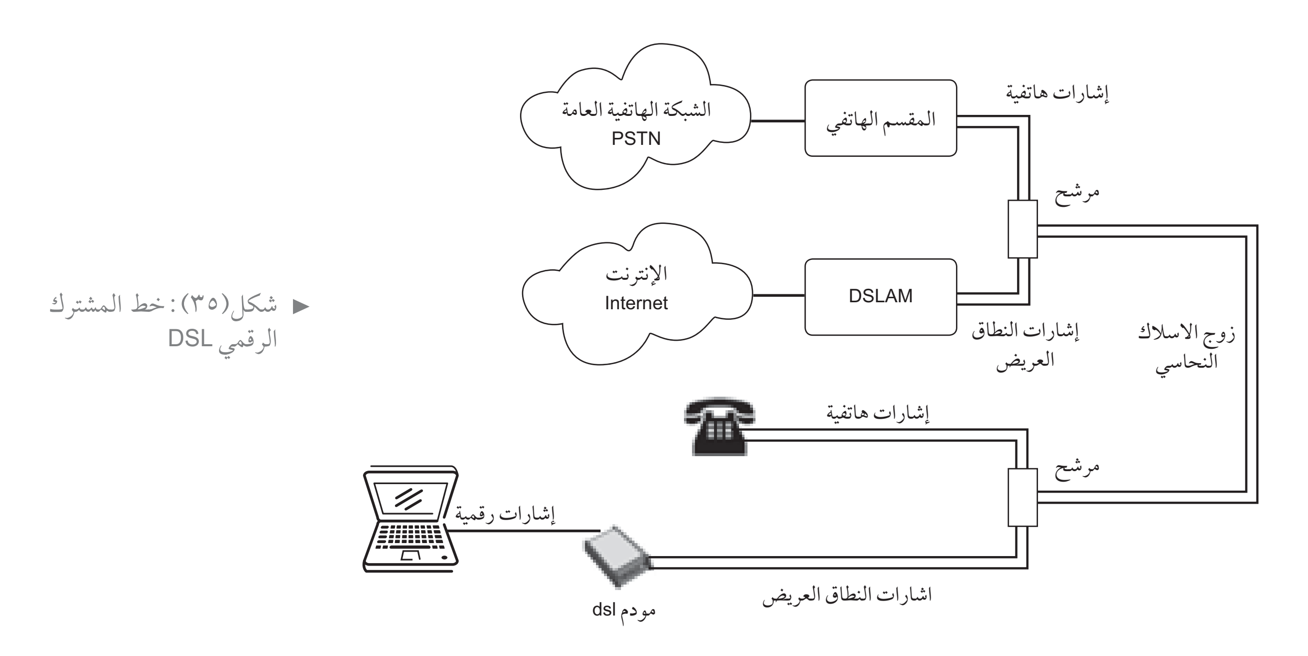
## خط المشترك الرقمي (DSL)

مع تطور تقنيات الاتصالات وظهور الإنترنت بالتزامن مع انتشار الحاسوب الشخصي ظهرت الحاجة إلى تقنيات تربط أجهزة الحاسوب وشبكاتها بعضها مع بعض من خلال الإنترنت، ومن هنا جاء استعمال المودم في نقل الإشارات الرقمية بين الحواسيب وشبكات الحاسوب، إلا أن طبيعة عمل المودم تفرض أن يستخدم الترددات المتاحة في حدود الشبكة الهاتفية، أي أقل من 4KHz، وهذا لن يعطي سرعة عالية في تبادل المعلومات، إذ إن أقصى سرعة للمودم هي 56 كيلوبت في الثانية.

لذلك كان لابد من التفكير في تقنيات جديدة توفر سرعات عالية دون تغيير أساسي في البنية التحتية لشبكات الاتصالات التي تعتمد أساساً على الأسلاك النحاسية، إذ إنه من المكلف تغيير الشبكات الحالية وإستبدالها بألياف بصرية، أوحتى زيادة أزواج الأسلاك النحاسية المرتبطة بكل مشترك.

هنا ظهرت تقنية خط المشترك الرقمي DSL حيث تستعمل هذه التقنية نفس زوج الأسلاك النحاسية لكل مشترك لربطه بشبكة نطاق عريض (Broad Band) ذات سرعات عالية ومن دون تداخل مع الإشارات التماثلية الخاصة بالمكالمات الهاتفية ، ويتم ذلك عن طريق استعمال نطاقات تردد واسعة وذات ترددات عالية ؛ مما يسمح بنقل الإشارات الرقمية بسرعات عالية .

ويتم دمج الإشارات الخاصة بالنطاق العريض بالإشارات الخاصة بالمكالمات الهاتفية من خلال التقسيم الترددي (FDM) كما في الشكل (35) .




▸ شكل(٣٥) : خط المشترك الرقمي DSL

ويتم فصل الإشارات الهاتفية عن إشارات ال DSL بوساطة مرشح Filter / Splitter الذي يعتمد على مرشح تمرير نطاق منخفض Low Pass Filter لتصفية الإشارات الهاتفية ؛ كونها ذات نطاق منخفض ، أما الإشارات ذات التردد العالي فيتم ترجمتها إلى إشارات رقمية لنقلها إلى الحواسيب وشبكاتها . تتجمع الوصلات الهاتفية الخاصة بالمشتركين عند المقسم ، وتمر عبر مرشح ، مثل الذي لدى المشترك ليفصل الإشارات الهاتفية وينقلها إلى المقسم ليتم معاملتها كأية إشارة هاتفية أخرى ، أما تلك الإشارات الخاصة بالنطاق العريض فيتم نقلها إلى مجمع الوصلات لخط المشترك الرقمي (DSLAM) ، وهو عبارة عن جهاز يستقبل إشارات النطاق العريض من كل المشتركين ويترجمها إلى إشارات رقمية يرسلها إلى وجهتها من خلال شبكة الحواسيب أوالإنترنت ، كما يستقبل البيانات المطلوبة من شبكة الحواسيب أوالإنترنت ويرسلها إلى المشتركين من خلال تحويل الإشارات الرقمية التي تمثل هذه البيانات إلى إشارات تماثلية ذات ترددات ضمن النطاق العريض .

وتختلف أنواع خطوط المشتركين الرقمية وتتعدد استخداماتها باختلاف سرعاتها ، وهي كما يأتي :

١ . خط المشترك الرقمي غير المتماثل (ADSL) : وهوالأكثر انتشاراً ، وقد صمم على أن يكون النطاق المخصص للبيانات المرسلة من قبل المشترك (140KHz – 30 KHz) أقل بكثير من النطاق المخصص

للبيانات القادمة أوالمستقبلة والتي تصل إلى 1104KHz، وذلك يعود لطبيعة الاستعمال للمشترك إذ إنه عادة تكون المعلومات المطلوبة أكثر بكثير من المعلومات المرسلة. ويمكن أن تصل سرعة التنزيل حتى 2 ميغابت في كل ثانية في حين تصل سرعة التحميل إلى 640 كيلوبت في كل ثانية.

٢. خط المشترك الرقمي المتماثل (SDSL): ويستخدم في الشركات والمؤسسات التي تقدم خدماتها عن طريق الإنترنت حيث يتميز بأن سرعة تنزيل وتحميل المعلومات متساوية؛ إذ يمكن أن تصلا إلى 2 ميغابت / ثانية.

٣. خط المشترك الرقمي الفائق (VDSL): ويستخدم في نقل الملفات الكبيرة، وفي مجال نقل البث التلفازي، ويتميز بسرعة عالية جدا يمكن أن تصل إلى 56 ميغابت / ثانية.

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line.
SDSL Symetric Digital Subscriber Line.
VDSL Very high Speed Digital Subscriber LIne.
DSLAM DSL Access Multiplerxer.

## نموذج النقل اللامتزامن (ATM)

هي تقنية متقدمة ذات سعة نطاق عالية تسمح لمجموعة من التطبيقات والخدمات المختلفة ليتم دعمها ونقلها عبر شبكة واحدة.

وقد تم تطوير هذه التقنية لتحسين أسلوب الإرسال في الشبكات الحديثة (B–ISDN) وهي شبكة رقمية عالية السرعة.

ATM Asynchronous Transfer Mode.
B-ISDN Broadband ISDN.

تتكيف تقنية ATM مع كل من الشبكات المحلية والواسعة وتدعم سرعات لنقل البيانات تتراوح بين 25 ميجابت/ ثانية و1.2 جيجابت/ ثانية أو أكثر، وخلافاً لغيرها من تقنيات الإرسال فإن تقنية ATM لا ترسل البيانات على هيئة أطر مختلفة الحجم، بل ترسلها على شكل خلايا Cells محددة الحجم، وكل خلية تحمل 53 بايت كحد أقصى.

يعدّ نقل البيانات على شكل خلايا صغيرة أكثر فعالية وكفاءة من نقلها على شكل حزم أوإطارات كبيرة ومختلفة الأحجام وذلك لأن هذه الخلايا تتمتع بالمميزات الآتية:

١. من الممكن نقلها بشكل أسرع بين مكونات الشبكة.

٢. أقل تعقيداً، ويمكن معالجتها بشكل أسرع من الأطر كبيرة الحجم

٣. تحتاج إلى أقل ما يمكن من خواص التحكم بتدفق البيانات ومعالجة الأخطاء.

أما طريقة عمل هذه التقنية فتتم بطريقة عمل تقنية نقل الإطار من حيث ضرورة توفر مسار ظاهري (Virtual Path) بين الأجهزة المرسلة والمستقبلة قبل البدء بعملية نقل البيانات.

كما أن ATM مشابهة لتقنية نقل الإطار في توزيعها الديناميكي لسعة النطاق حسب الطلب.

وللاستفادة القصوى من إمكانيات وقدرات تقنية ATM لابد أن تكون جميع الأجهزة متوافقة بشكل كامل مع مواصفات ATM . ومن مميزات تقنية ATM :

- السرعة العالية .
- توفير مدى واسع من الخدمات أكثر مما تستطيع تقنية Frame Relay توفيره، وذلك نظراً لسعة النطاق المرتفعة .
- توفير التكامل بين الشبكات المحلية والشبكات الواسعة ؛ مما يسهل ويبسط إدارتها .

## الأسئـــلة

س١ : اذكر مكونات لشبكة هاتفية .

س٢ : اذكر مكونات جهاز الهاتف .

س٣ : اشرح آلية عمل الميكروفون الكربوني .

س٤ : ارسم مخططاً صندوقياً يوضح مكونات شبكة التوزيع .

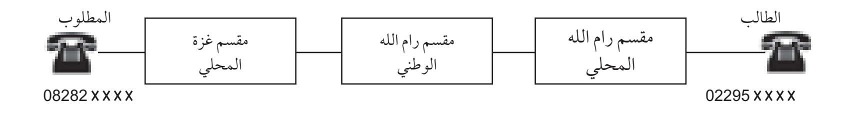
س٥ : لماذا تستخدم معدات الحماية داخل هيكل التوزيع الرئيس (MDF) ومم تتكون؟

س٦ : اذكر أهم عيوب المقاسم اليدوية .

س٧ : ارسم مخططا صندوقياً لأجزاء المقسم الرقمي موضحاً أهم مكوناته ؟

س٨ : اذكر أهم ما يميز نظام الإشارة للقناة المشتركة ss7.

س٩ : اشرح سيناريو مكالمة وطنية بين مقسمين حسب المخطط الآتي :
علماً بأن مقسم رام الله الوطني هو مقسم عبور .




س١٠ : أ. اذكر ما يميز أنظمة التجميع الرقمية في منظومة التراسل عن الأنظمة التماثلية .
ب . اذكر انواع أنظمة التجميع الرقمية .

س١١ : أذكر أهم خصائص نظام الهيكلية الرقمية المتزامنة SDH .

س١٣ : لماذا سميت شبكة الخدمات الرقمية ISDN بالمتكاملة؟ وما هي أنواعها؟

س١٤ : عدد أنواع خطوط المشتركين الرقمية DSL واستخداماتها موضحاً سرعاتها المختلفة .

س١٥ : بماذا تتميز تقنية نقل الإطار Frame Relay ، ومن يفضل أن يستخدمها؟

س١٦ : اذكر ثلاث مميزات لتقنية ATM وعددعيوبها .

س١٧ : ما هو الجزء في المقسم الذي يرتبط مباشرة بغرفة التراسل .

س١٨ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

١ . يعتمد عدد الأرقام في المدى الرقمي لكل مقسم على سعة المقسم .

٢ . كان يجب وضع المقاسم البدائية في أطراف التجمعات السكانية .

٣ . يعتمد جهاز الهاتف القرصي على النغمات المزدوجة متعددة الترددات DTMF .

٤ . تستخدم الكوابل ذات السعات الصغيرة نسبياً ككوابل فرعية والأخرى ذات السعات الكبيرة والتي تصل إلى 40000 زوج ككوابل رئيسة في شبكة التوزيع الهاتفية .

٥ . الجرار في وحدة التحكم بالخطوط الهاتفية في المقاسم الرقمية يحوي عدداً محدداً من كرتات المشتركين .

٦ . النظام الأمريكي لتجميع القنوات يتكون من 32 قناة .

٧ . أنظمة الفوترة في المقسم ترتبط بقاعدة بيانات تحتوي على حقل البدء في المكالمة .

٨ . من رقم هاتف المشترك يمكن معرفة إلى أي مقسم يتبع هذا المشترك .

٩ . خدمة الأرقام المجانية هي خدمة تعمتد على الشبكة الذكية .

١٠ . يعدّ نظام PDH ذا مميزات أكبر من نظام الـ SDH .

س١٩ : اختر الإجابة الصحيحة :

١ . كان للمقاسم اليدوية العديد من العيوب ، منها :

أ . حاجتها إلى عامل المقسم لتمرير المكالمات .
ب . ذات سعات قليلة .
جـ . الحاجة إلى أن تكون في وسط التجمع السكاني .
د . كل ما ذكر .

٢ . تقوم وحدات التحكم بالترنكات الرقمية DTC بـ :

أ . تزويد الخطوط بالحرارة عند رفع الساعة .
ب . تشغيل دارات الجرس .
جـ . تشغيل ال E1's والـ T1's.
د . كل ما ذكر .

٣ . في جهاز الهاتف الجزء المسؤول عن تحويل الاشارة الكهربائية إلى موجة صوتية تسمعها :

أ . الميكروفون .
ب . السماعة .
جـ . وحدة التنبيه(الجرس) .
د . قرص الطلب .

٤ . من أحدث أجيال المقاسم .

أ . المقاسم اليدوية .
ب . المقاسم الرقمية .
جـ . المقاسم الكهروميكانيكية .
د . المقاسم التماثلية .

٥ . تستخدم الكوابل ذات السعات الكبيرة لربط :

أ. خزائن التوزيع بالمقسم . ب . جهاز الهاتف بقبس الهاتف .

جـ. الصناديق المثبتة على الأعمدة بالكيبل الرئيس . د. مقبس الهاتف بصندوق التوزيع .

٦ . تتميز الشبكة الذكية بالعديد من الخدمات ، مثل :

أ. الرقم المجاني . ب. خدمات الهواتف مسبقة الدفع .

جـ. خدمة البطاقات مسبقة الدفع . د. كل ما ذكر .

٧ . صمم خط المشترك الرقمي غير المتماثل ADSL على أن يكون :

أ. النطاق المخصص للبيانات المرسلة أقل بكثير من النطاق المخصص للبيانات المستقبلة .

ب. النطاق المخصص للبيانات المستقبلة أقل من النطاق المخصص للبيانات المستقبلة .

جـ. النطاق المخصص للبيانات المستقبلة مساوياً لنطاق البيانات المرسلة .

د. كل ما ذكر .

الوحـــــدة



# أنـظمة الاتصـالات اللاسلكيـة

# Wirelss Communcations Systems



# أنظمة الاتصالات اللاسلكية

عندما يتعذر استخدام الاتصالات السلكية لوجود عوائق، أو بسبب بعد وكبر مساحة المنطقة الجغرافية أو عندما يصبح من المستحيل إيصال التمديدات اللاسلكية، ولا سيّما في التطبيقات أو الاستخدامات المتنقلة حيث الحاجة إلى حرية الحركة أثناء الإتصال، خاصةً في المركبات المتنقلة البرية والبحرية والجوية فقد دعت الحاجة إلى استخدام أنظمة الاتصالات اللاسلكية. ومع التطور التكنولوجي السريع تطورت معه أنظمة الاتصالات اللاسلكية، وانتشرت بشكل كبير، وأثّرت على حياتنا اليومية بشكل يصعب الاستغناء عنه، إذ لاغنى عن استقبال القنوات الإذاعية التلفازية. كما ظهرت أنظمة الهواتف الخليوية التي أصبحت مظهراً من مظاهر عصرنا الحالي.

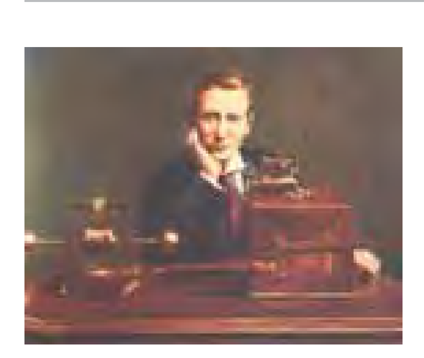
ويعد قطاع الاتصالات اللاسلكية (خاصة الخليوية منها) واحداً من أكثر القطاعات تطوراً وانتشاراً في أنحاء العالم، ولم يقتصر على نقل الصوت فقط، وإنما نقل البيانات والصور والفيديو.

## أهداف الوحدة

بعد دراستك هذه الوحدة يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

- تشرح تطور الأنظمة الخليوية وخصائصها.
- تتعرف على النظام العالمي للاتصالات الخليوية GSM.
- تشرح التقنيات المستخدمة لتطوير الأنظمة الخليوية.
- تتعرف على أنظمة لاسلكية أخرى، مثل بلوتوث والواي فاي.
- تتعرف على هواتف الأقمار الصناعية المتنقلة.
- تتعرف على نظام الدارة المحلية اللاسلكية.
- تتعرف على مكونات نظام أجهزة الاتصال اللاسلكية.

## تاريخ الأنظمة اللاسلكية



اسس ماركوني شركة لإنتاج أنظمة الاتصالات اللاسلكية، ونال جائزة نوبل في الفيزياء عام 1907م، وتوفي عام 1937م والشركة التي أسسها تعدّ الآن جزءاً من شركة جنرال الكترك.

- 1885 يعزى الفضل الأول لهنري هيرتز في إجراء أول اتصال راديوي، وكان نظاماً بسيطاً حيث كان جهاز الإرسال مكوناً من مفتاح وملف حثي لتوليد شرارة عبر أقطاب، اما جهاز الاستقبال فهو عبارة عن ملف مع فتحة ضيقة في السلك وعند حدوث شرارة بين اقطاب جهاز الإرسال تحدث شرارة بين أقطاب جهاز الاستقبال ضمن مسافة قصيرة داخل المختبر.

تبع ذلك ماركوني الذي طور نظام هنري هرتز البسيط إلى نظام أفضل لا يعتمد على حدوث الشرارة الكهربائية، وإنما على الهوائيات التي نعرفها اليوم حيث وصل مدى الإرسال إلى مايقرب من بضعة كيلومترات. وأدى اختراع الصمامات الحرارية إلى تطور أجهزة الاتصالات وزيادة فاعليتها.

- 1912طور آرمسترونغ وفسندن جهاز الاستقبال السوبرهوتروداين.
- 1933 طور آرمسترونغ مبدأ تضمين التردد FM، وفي الحرب العالمية الأولى ظهرت الحاجة الملحة لأنظمة الراديو في نقل الأوامر والخطط العسكرية إلى قلب المعركة، وظهرت الحاجة إلى أنظمة بأحجام تناسب المركبات والطائرات والسفن الحربية، وتحمل في حقيبة على ظهر الجنود في المعركة.

بعد انتهاء الحرب العالمية الأولى كان الاهتمام منصباً على البث الإذاعي خاصة في الولايات المتحدة وأدى تزايد عدد المحطات الإذاعية إلى زيادة إنتاج اجهزة الاستقبال وتوفرها بشكل تجاري للمستهلك العادي.

- 1921 كان أول استخدام لما سمي الراديو الخاص المتنقل لشرطة دترويت وشرطة لندن عام 1923 باتجاه واحد (Simplex).

بحلول الحرب العالمية الثانية كان الراديو قد تطور وانتشر بشكل كبير حيث زودت به الآليات العسكرية بشكل أساسي، وأصبح لا غنى عنه في ساحات المعارك وبانتهاء الحرب العالمية الثانية بدأ البحث عن أسواق جديدة للهاتف الراديوي غير الاستخدام العسكري، وظهر مصطلح Private Mobile Radio PMR أو أنظمة الهاتف النقالة الخاصة.

- 1946 أول ظهور لخدمة الهاتف المتنقل Mobile Telephone Services (MTS)، وكان لشركة AT&T.
- في الخمسينيات من القرن الماضي كان الهاتف المتنقل يوضع في العديد من السيارات الخاصة وسيارات الاجرة، اما التطور الكبير فكان بعد اختراع الترانزستور الذي قلل من حجم أجهزة الراديو اللاسلكية وخفض من استهلاكها للطاقة الكهربائية.

- 1965 ظهر أول جهاز لاسلكي يحمل باليد، وقد أمكن لدوائر الشرطة تزويد كل شرطي بجهاز بدلاً من تزويد السيارة وظهرت في تلك الفترة الحاجة إلى تنظيم استخدام ترددات البث ووضع القوانين والتشريعات لها.

وقد ظهرت العديد من الشركات في الولايات المتحدة وأوروبا التي تقدم خدمة الهاتف المتنقل خاصة في بريطانيا والسويد، لكنها كانت محدودة السعة وبمدى قصير لاعتمادها على خلية واحدة وبقيت في الخدمة طويلاً إلى أن بدات أنظمة الهاتف الخليوي في التطور والظهور في الثمانينيات من القرن الماضي حين كانت قد وضعت الاسس الأولية للنظام الخليوي من قبل Bell Labs التابعة لشركة AT&T عام 1948 ولكن التكنولوجيا اللازمة لتطبيقها لم تتوفر إلا في الثمانينيات حين ظهرت (AMPS) في الولايات المتحدة الامريكية، وخصص لها التردد 800MHz، وقد انتشر هذا النظام في العديد من بلدان العالم.

- 1991 – ظهر نظام GSM، وفي أوروبا بعد أن تم وضع معايير دولية لنظام الهاتف الخليوي سيطر نظام GSM على سوق الهاتف الخليوي في العالم وانتشر بشكل كبير في جميع دول العالم وبتأمينه لخاصية التجوال Roaming جعل بالإمكان للشخص التنقل في العديد من دول العالم بنفس الرقم الذي يحمله وبالإضافة إلى العديد من المزايا الأخرى. وفي الآونة الأخيرة ظهرت العديد من التطبيقات اللاسلكية التي تؤمن خدمات الاتصال لتطبيقات معينة، مثل الواي فاي WiFi والبلوتوث Bluetooth كما يجري العمل على تطوير نظام عالمي للاتصالات الخليوية ليؤمن العديد من التطبيقات وبسرعات نقل بيانات عالية.

نظراً لاستخدام الكثير من المصطلحات الإنجليزية في هذه الوحدة والحاجة إلى استخدامها لاحقا فإنه من الافضل تفسير معاني هذه الاختصارات مقدماً، ومن ثم استخدام المختصرات لاحقاً. وفيما يأتي جدول بأهم المصطلحات المستخدمة:

| المعنى العربي | المعنى الانجليزي | المختصر |
|---|---|---|
| النظام العالمي للاتصالات المتنقلة. | Global System for Mobile Communication. | GSM |
| نظام فرعي محطة القاعدة. | Base Station Subsystem. | BSS |
| نظام فرعي التحويل. | Network Switching Subsystem. | NSS |
| نظام فرعي التشغيل والصيانة. | Operation And Maintenance Subsystem. | OMSS |
| محطة اتصال القاعدة. | Base Transceiver Station. | BTS |
| نظام التحكم في محطة القاعدة. | Base Station Controller. | BSC |
| المقسم المركزي . | Mobile Switching Center. | MSC |
| مقسم عبور. | Gate way Mobile Switching Center. | GMSC |
| شبكة الهاتف العامة. | Public Switch Telephone network. | PSTN |
| سجل موقع الزائر. | Visitor Location Register. | VLR |

| | | |
|---|---|---|
| HLR | Home Location Register. | سجل الموقع الرئيسي . |
| EIR | Equipment Identity Register. | سجل هوية الوحدات المتنقلة . |
| IMEI | International Mobile Equipment Identity . | هوية الجهاز الدولية . |
| AUC | Authentication center. | مركز التوثيق . |
| IMSI | International Mobile Subscriber Identity. | الهوية الدولية للمشترك . |
| TMSI | Temporary Mobile Subscriber Identity. | هوية المشترك المؤقته . |
| PLMN | Public Land Mobile Network. | الشبكة الأرضية العامة للمتنقلات . |
| SIM | Subscriber Identity Module. | بطاقة هوية المشترك . |
| AMPS | Advanced Mobile Phone System. | النظام المتطور للهاتف المتنقل . |
| GPRS | General Packet Radio Service. | الخدمة العامة لنقل الحزم لاسلكياً . |
| EDGE | Enhanced Data Rate for GSM Evolution. | معدل النقل المحسن لأنظمة GSM. |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System. | نظام الاتصالات العالمي للمتنقلات . |
| HCMTS | High Capacity Mobile Telephone Services. | خدمة الهاتف المتنقل عالي السعة . |
| MS | Mobile Station. | الوحدة المتنقلة(الجهاز الخليوي) . |
| ME | Mobile Equipment. | الجهاز المتنقل . |
| PIN | Personal Identification Number. | رقم التعريف الشخصي . |
| PUK | Personal Unblocking Key. | رقم فك الإغلاق الشخصي . |
| SMSC | Short Message Service Center. | مركز خدمة الرسائل القصيرة . |
| VMS | Voice Mail System. | نظام البريد الصوتي . |
| OSS | Operation Support System. | نظام دعم التشغيل . |
| CCBS | Customer Care and Billing System. | نظام خدمات المشتركين والفوترة . |
| NMC | Network Management center. | مركز إدارة الشبكة . |
| HSCSD | High Speed Circuit Switched Data. | دارات تحويل البيانات عالية السرعة . . |
| TCH | Traffic Channel. | قناة نقل المعلومات . . |
| CCH | Control Channel. | قناة التحكم . |
| BCCH | Broadcast Control Channel. | قناة تحكم بالبث . |
| CCCH | Common Control Channel. | قناة تحكم مشتركة . |
| DCCH | Dedicated Control Channel. | قناة تحكم مكرسة . |
| CT2 | Cordless Telephone 2. | الهاتف اللاسلكي الجيل الثاني . |
| DECT | Digital Enhanced Cordless Telephone. | الهاتف اللاسلكي الرقمي المحسن . |
| FHSS | Frequency Hopping Spread spectrum. | قفزات تردد الطيف المنتشر . |
| WLL | Wireless Local Loop. | الدارة المحلية اللاسلكية . |
| MSISDN | Mobile Station International Subscriber Directory Number. | رقم هاتف المشترك الدولي . |
| TDD | Time Division Duplexing. | نظام التقسيم الزمني الثنائي . |

## الأنظمة اللاسلكية التقليدية (وحيدة الخلية)

ظهرت الأنظمة اللاسلكية التقليدية بعد الحرب العالمية الثانية، وكان الهدف الأساسي لهذه الأنظمة تأمين الاتصال للمركبات والآليات المتنقلة وربطها بشبكة الهاتف العامة PSTN. لاحظ الشكل (1).

ولاعتمادها على النظام التماثلي كانت نوعية الإرسال ضعيفة، واقتصر استخدامها في البداية على المؤسسات العسكرية والشرطة وأنظمة الملاحة الجوية والبحرية، ثم انتقل إلى الاستخدام الخاص وسيارات الأجرة.




شكل (١):

عيوب الأنظمة التقليدية:

١. ارتفاع الكلفة (للجهاز ولزمن الاتصال).

٢. ضخامة حجم ووزن الأجهزة المتنقلة.

٣. مساحة تغطية محدودة نسبياً لاستخدام برج إرسال واحد(خلية واحدة).

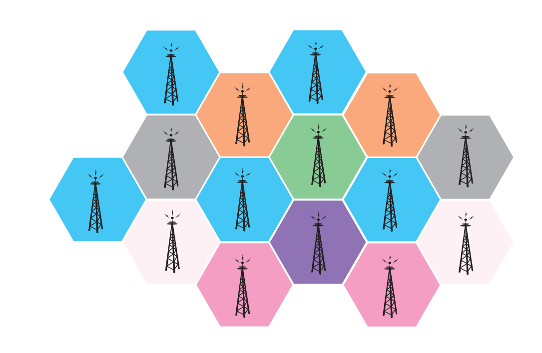
٤. سعة محدودة لعدد المشتركين (25 قناة تقريبا).

٥. إمكانية التطفل لعدم استخدام نظام تشفير.

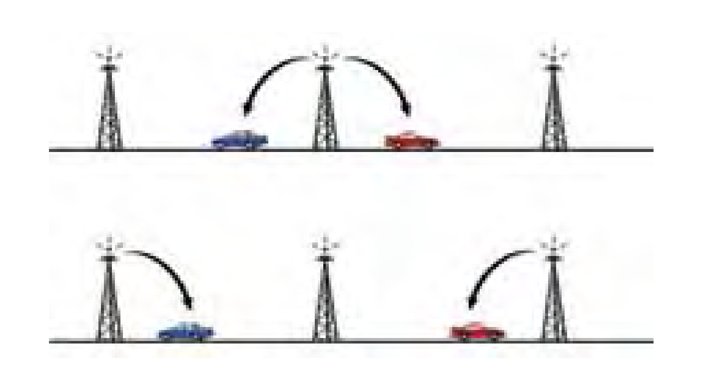
٦. جودة اتصال منخفضة.

## الأنظمة الخليوية (Cellular Systems)

المبدأ الأساسي في الأنظمة الخلوية هو تقسيم منطقة الخدمة إلى مناطق تسمى خلايا، ويستخدم برج لتغطية كل خلية وذلك باستخدام طاقة إرسال منخفضة لكل برج لمنع التداخل في حال استخدام نفس الترددات في خلية أخرى، كما في الشكل (2) وبذلك لم تعد هناك حاجة لاستخدام أجهزة خليوية بطاقة عالية، كما أصبح بالإمكان زيادة سعة الأنظمة الخليوية بإضافة المزيد من الأبراج (الخلايا)، واصبح بالإمكان التنقل بين الخلايا بشكل سلس الشكل (3) وتم إضافة العديد من الخدمات بالإضافة إلى نقل الصوت، وظهرت عدة أنظمة استخدمت في البداية النظام التماثلي عرفت بالجيل الأول، ثم تطورت إلى أنظمة أخرى استخدمت النظام الرقمي، وعرفت بالجيل الثاني ومازالت هذه الأنظمة قيد البحث والتطوير لتحسين أدائها، ولتوفير العديد من الخدمات، منها نقل الصوت والصورة، وخدمات الانترنت، وشمولية التغطية الجغرافية باستخدام الأقمار الصناعية، ويجري الان اختبار ما يعرف بالجيل الثالث، وفيما يأتي ملخص لأبرز مميزات هذه الأجيال.



شكل (٢):



شكل (٣):

## الجيل الاول G1 1980

كانت أنظمة هذا الجيل المثال الأول على توظيف مبدأ النظام الخليوي وذلك في أواخر السبعينيات، وبقيت في الخدمه حتى أوائل التسعينيات، وتميزت باستخدام النظام التماثلي.

**التكنولوجيا:** كانت تستخدم التقسيم الترددي FDMA والنظام التماثلي Analog ونظام التضمين FM.

**أمثـــلة:** AMPS في الولايات المتحدة الامريكية، NMT-900 في السويد، HCMTS في اليابان.

**خصائص الجيل:**

١ . غير متوافقة في النظام، وتعتمد على ترددات مختلفة لعدم وجود معايير دولية موحدة.

٢ . محدودة السعة والتوسع (لضعف التكنولوجيا المستخدمة).

٣ . جودة منخفضة لاعتمادها على النظام التماثلي.

٤ . ضعف الحماية ضد التطفل لعدم اعتمادها نظام تشفير.

٥ . اقتصار الخدمات على نقل الصوت فقط.

## الجيل الثاني G2 1992

امتازت أنظمة هذا الجيل باستخدام التقنية الرقمية، بعد تطور صناعة الدارات الرقمية وتطور سرعة نقلها للبيانات، وتميزت بسعاتها العالية مقارنة بأنظمة الجيل الأول، وقد تم وضع معايير دولية لهذه الانظمة؛ مما سهل انتشارها.

**التقنية المستخدمة:** تستخدم تقنيات الوصول TDMA و FDMA و CDMA والتكنولوجيا الرقمية وتضمين QPSK وGMSK في الإرسال والاستقبال.

أمثـــلة : DAMPS : الولايات المتحدة الامريكية، ويستخدم TDMA.

GSM : أوروبا والعديد من دول العالم، ويستخدم TDMA.

IS-95 (CDMAOne): الولايات المتحدة الامريكية ويستخدم CDMA.

**مميزات هذا الجيل :**

١ . سعة هاتفية وإمكانية توسع عاليين .
٢ . جودة عالية لاعتمادها على التضمين الرقمي .
٣ . حماية قوية ضد التطفل لاستخدامه تقنيات التشفير الرقمية .
٤ . توفير العديد من الخدمات، مثل نقل النصوص SMS والفاكس وغيرها .
٥ . أجهزة صغيرة الحجم واستهلاك منخفض للطاقة .
٦ . خدمة التجوال الدولي .

## الجيل الثاني المطور 1999 -2001 G2.5 (Phase2)

يعد جيل التطور والتحول نحو الجيل الثالث، حيث تم استخدام أنظمة إضافية لزيادة سرعة نقل البيانات على أنظمة الجيل الثاني السابقة التي تستخدم نظام TDMA وهذا مكن من استخدام تطبيقات الإنترنت، ونقل البيانات والوسائط المتعددة .

**التقنية المستخدمة :** GPRS : واستخدم لتطوير نظام GSM.

EDGE : استخدم لتطوير نظام DAMPS نظام GPRS التي تستخدم على أنظمة GSM

CDMA2000 1X : التي تستخدم لتطوير IS-95 (CDMAONE).

## الجيل الثالث G3 2001

بعد النجاح الكبير الذي حققته أنظمة الجيل الثاني، وخاصة نظام GSM بدأ التوجه نحو تكامل ودمج العديد من الأنظمة في نظام واحد يشمل الأنظمة الخليوية والهواتف اللاسلكية وأنظمة المناداة ونظم الأقمار الصناعية ودمجها في نظام عالمي موحد، وبدأت المنظمات الدولية بوضع معايير موحدة لأنظمة هذا الجيل، وبدأ بعض هذه الأنظمة بالظهور في اليابان وكوريا الجنوبية، ثم لحقت بها العديد من دول العالم .

**التقنية المستخدمة :** تستخدم أنظمة الجيل الثالث نظام الوصول WCDMA وتضمين QPSK في الإرسال والاستقبال .

WCDMA هو نوع من CDMA، يستخدم نطاق بث عريض .

**أمثـــلة :** UMTS في أوروبا واليابان .

**مميزات هذا الجيل :**

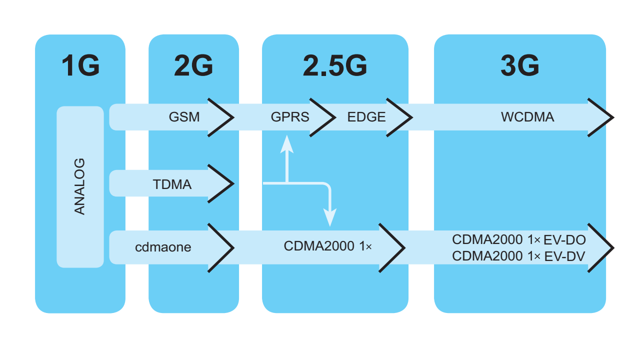
١ . مقياس عالمي موحد .

٢ . تجوال عالمي موحد Global Rooming (بين مختلف أنواع الأنظمة من خليوية وأقمار صناعية وغيرها) .

٣ . سرعة نقل بيانات عالية .

٤ . نقل الوسائط المتعددة بنوعية مقبولة .

٥ . الاتصال الدائم مع الإنترنت .




شكل (٤) : أجيال الأنظمة الخليوية .

### الجيل الرابع G4 2010

إن التوجه الأساسي في هذا الجيل هو الوصول إلى سرعة نقل بيانات عالية تصل إلى 100Mbps لتخدم تطبيقات الفيديو والإنترنت ، وسيتم استخدام بروتوكولات الشبكات وعنوان بروتوكول الإنترنت (IP Address) لكل مستخدم ، وذلك اقرب نحو مبدأ الشبكات اللاسلكية WLAN ، ولهذا الغرض ستوضع خلايا محلية بين التجمعات السكانية والمكاتب والشركات ، وقد لايزيد مدى الخلايا عن 100m(Picocells) ، وهذا يستدعى تركيب آلاف الخلايا داخل المدينة الواحدة .

**نشـــاط (١):**

إبحث في الجيل المستخدم في شركات الإتصال الخليوي المحلية .

## النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM)

طور نظام ال GSM في أوروبا حيث وضعت له المواصفات والمقاييس وأنشئت عام 1982مجموعة تابعة للاتحاد الدولي للاتصالات (ITU-T) ، وكان هدف هذه المجموعة وضع اسس ومقاييس لنظام خليوي أوروبي موحد ، وقد بدأ بتشغيل هذا النظام منذ عام 1991 ، وانتشر عالمياً ، وسمي (GSM) .

يعدّ نظام GSM من أكثر الأنظمة انتشاراً حول العالم ، فهناك أكثر من 690 مشغلاً لهذه الخدمة في 213 بلداً حول العالم تخدم مايقارب 2 مليار مشترك ، ويمثل ما نسبته أكثر من 82 % من سوق الأنظمة اللاسكية حول العالم (احصائيات 2006) ، ويحوي العديد من التطبيقات والخدمات وبما أن الأنظمة الخليوية تتشابه في الكثير من الخصائص فإن دراستنا لنظام GSM سيساعد في فهم العديد من الأنظمة الخليوية الأخرى .

## الحاجة إلى نظام GSM

بعد النجاح العملي للأنظمة الخلوية التماثلية ، مثل (AMPS) ظهرت الحاجة إلى تطوير نظام رقمي يتمتع بالمواصفات الآتية :

١ . نوعية نقل جيدة للصوت .

٢ . إمكانية الوصول إلى خدمات الاتصالات الأخرى ، مثل البيانات (ISDN، فاكس ، الإنترنت ، البريد الإلكتروني) .

٣ . نظام أمان ووثوقية عالية يمنع التطفل والتنصت .

٤ . سعة تماثل سعة أنظمة شبكة الاتصالات العامة (PSTN) .

٥ . تكلفة منخفضة للمشغل وللمشترك .

٦ . اسس للانتشار عالمياً .

٧ . امكانية التطور للأنظمة المستقبلية .

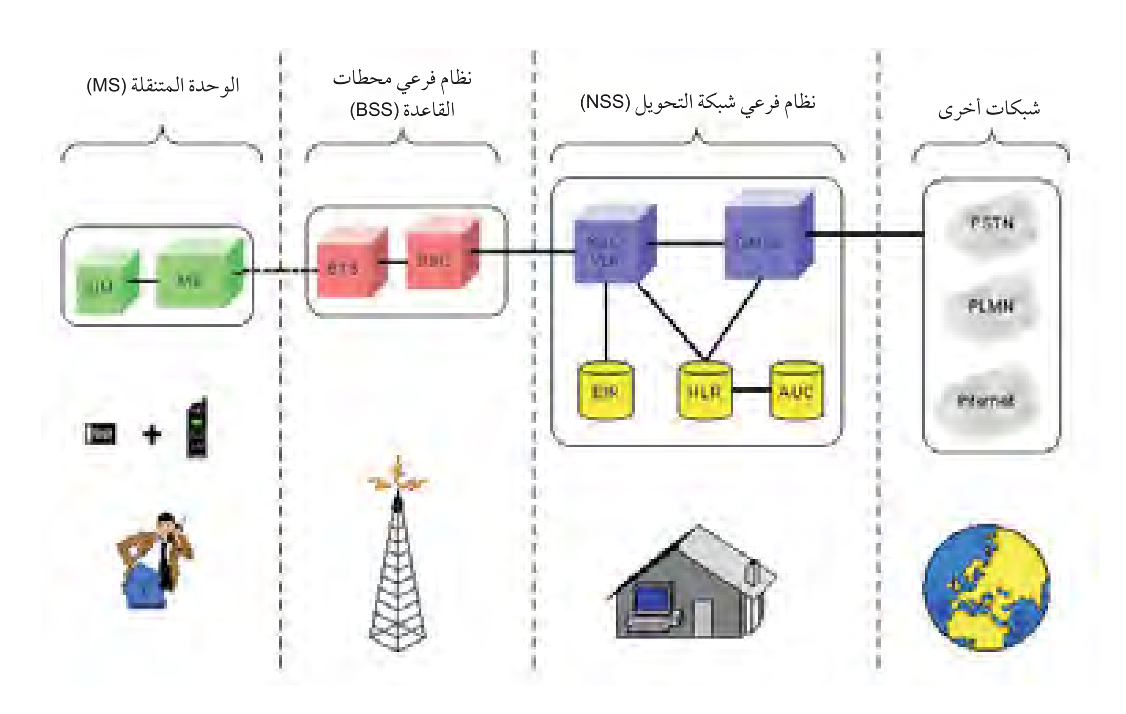
## المميزات الأساسية:

- مقياس عالمي موحد .
- استخدام التقنية الرقمية .
- استخدام فعال للنطاق الترددي عبر التوزيع الخليوي واستخدام التقسيم الزمني TDMA.
- نظام حماية وتشفير قوي لمنع التطفل .
- خدمة التجوال العالمي باستخدام رقم المشترك الشخصي .
- كرت المشترك SIM الذي يحمل معلومات خط المشترك وبالتالي امكانية تغيير جهاز الهاتف المتنقل دون تغيير الرقم الشخصي .
- توفيره للعديد من الخدمات واتصاله مع شبكة الاتصال العامة PSTN .

## تركيب النظام

يتكون نظام GSM من الوحدات الآتية :

- الوحدة المتنقلة (الجهاز الخليوي) (MS) .
- نظام فرعي محطات القاعدة (BSS) .
- نظام فرعي شبكة التحويل (NSS) .
- نظام فرعي التشغيل والصيانة (OMSS) .




شكل (٥): تركيب نظام GSM

## الوحدة المتنقلة (MS)

تتكون من الجهاز المتنقل وبطاقة هوية المشترك.

**الجهاز المتنقل (ME)**: وهو جهاز متوافق مع نظام GSM وقد يكون محمولاً باليد أو في السيارة أو ثابتا في المكتب أو المنزل ويعرف كل جهاز برقم فريد عالميا (IMEI) يميزه عن غيره، ويمثل الهوية الدوليةللجهاز المتنقل، ويمكن للوحدات المتنقلة ان ترسل بيانات بالإضافة إلى الصوت وتتراوح الطاقة الإشعاعية لها بين 0.8W و2W حسب بعدها عن برج الخلية. الشكل (6) يبين بعض أنواع الأجهزة المتنقلة.



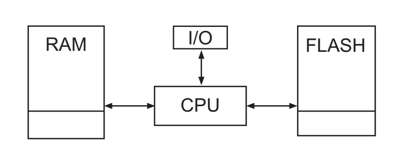
شكل (٦): أجهزة متنقلة

لمعرفة الـ IMEI الخاص بجهازك إضغط (* #06#)

**بطاقة هوية المشترك (SIM)**: وهي بطاقة ذكية تحتوي على رقم يمثل الهوية الدولية للمشترك (IMSI)، وهو رقم عالمي فريد يتعرف من خلاله نظام GSM على هوية المشترك، ويتم ربطه من خلال النظام برقم الهاتف الشخصي للمشترك.

كما يمكن استخدامها على أي جهاز متنقل وتؤمن بذلك الوصول إلى مختلف خدمات الشبكة، ومن دون هذه البطاقة لا يمكن للوحدة المتنقلة أن ترسل أو تستقبل مكالمات إلا للطوارئ فقط، وتتكون بطاقة المشترك من معالج (Microcontroller) يحتوي على ذاكرة قراءة فقط (ROM) للبرامج وذاكرة قابلة للقراءة والكتابة EEPROM لتخزين البيانات. لاحظ الشكل (7).

ويتم حماية البطاقة باستخدام رقم سري (PIN) وهو رقم مكون من أربعة خانات مخزن في بطاقة هوية المشترك SIM لمنع استخدامها في حالة الضياع أو السرقة، وإذا تم محاولة إدخال الرقم بشكل خاطئ ثلاث مرات فإن البطاقة تنغلق، وتمنع الوصول إليها إلا بإدخال رقم آخر يسمى رقم فك الإغلاق الشخصي (PUK) الذي تزوده الشركة للمشترك عند شرائه البطاقة.



شكل (٧): التركيب الداخلي (SIM)

## نشـــاط (٢):

ابحث في بعض المعلومات والبيانات التي تخزن على بطاقة هوية المشترك.

كما تحتوي على أنماط التشفير المختلفة التي تستخدم في عملية التوثيق Authentication والتشفير Ciphering بالإضافة إلى ذلك فإن بطاقة هوية المشترك تستخدم كذاكرة يخزن فيها معلومات وبيانات المشترك وتستخدم كدليل يحوي اسماء وارقام هواتف.

## نظام فرعي محطات القاعدة (BSS) :

ويتكون من محطة اتصال القاعدة، ونظام التحكم في محطات القاعدة.

**محطة اتصال القاعدة (BTS)**: تحتوي على واحد أو أكثر من معدات الإرسال والاستقبال (Transceivers TRX)، وقد تخدم خلية أو أكثر، وهي تؤمن الاتصال والربط مع الجهاز المتنقل، وتقوم بما يأتي:

١. عمليات الترميز والتشفير مع الوحدة المتنقلةMS.
٢. عمليات الدمج (Multiplexing).
٣. قفزات التردد (Frequency hopping) لزيادة الحماية والسرية بين برج الاتصال والوحدة المتنقلة.

الشكل (8) يبين أحد محطات اتصال القاعدة.

**نظام التحكم في محطات القاعدة (BSC)** تقوم بما يلي:

١. التحكم بمحطات القاعدة والترددات المتاحة.
٢. ضبط قنوات الاتصال (Channel setup).
٣. تنسيق المناولة(handover)بين الخلايا.
٤. تحديد طاقة الإرسال للوحدة المتنقلة.


شكل (٨): محطة اتصال قاعدة لشركة جوال




► شكل (٩): محطات اتصال قاعدة

يقوم BSS بالعمليات السابقة لواحدة أو أكثر من محطات القاعدة (قد تصل إلى عدة مئات حسب الشركة الصانعة) في منطقة تسمى منطقة الموقع Location Area، وهي المنطقة التي يمكن للوحدة المتنقلة التنقل داخلها دون الحاجة لتحديث الموقع، وتعرف المنطقة برقم يسمى رقم المنطقة(LAI). الشكل (10).



شكل (١٠): منطقة خدمة

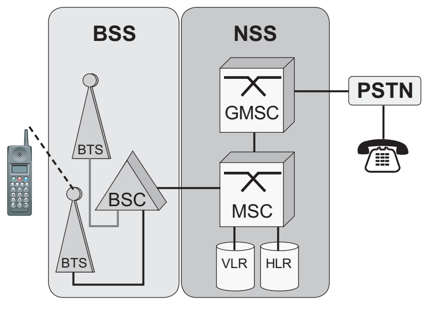
## نظام فرعي شبكة التحويل (NSS)

وهو عصب النظام الخليوي ويقوم بإدارة معظم وظائف وخدمات المشتركين ومعالجة المكالمات داخل النظام، ومع شبكة الاتصالات العامة PSTN، وتتكون من أنظمة رئيسة، وأنظمة فرعية.

### الأنظمة الرئيسة

تتكون من المقسم المركزي، وسجل الموقع الرئيس، ومركز التوثيق، وسجل موقع الزائر. كما في الشكل (11).

- المقسم المركزي (MSC): يقوم بالربط بين أنظمة التحكم في محطات القاعدة BSC، وبقية عناصر النظام لتأمين المهام الآتية:
  ١. التسجيل (Registration) والتوثيق (Authentication).
  ٢. تحديث سجلات المواقع (Location updating).
  ٣. تسجيل معلومات الفوترة للمشتركين.
  ٤. تحويل المكالمات الداخلية.
  ٥. الاتصال مع مقسم العبور (GMSC) لتأمين الاتصال مع الشبكات الأخرى السلكية واللاسلكية. أنظر الشكل (11).



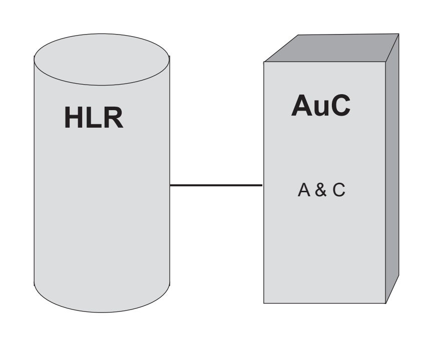

شكل (١١): الأنظمة الرئيسية

- سجل الموقع الرئيس(HLR): وهي قاعدة بيانات دائمة للمشتركين تسجل فيها معلومات عن : شكل (12).
  - (IMSI).
  - رقم هاتف المشترك الدولي (MSISDN).
  - الخدمات المسموح بها للمشترك.
  - الموقع الحالي للمشترك (LAI).
  - رموز التوثيق والتشفير (Authentication & Ciphering). الناتجة من مركز التوثيق.
  - معلومات الدفع المسبق.
  - معلومات التجوال (Roaming).

HLR
- IMSI
- MSISDN
- LAI
- A & C
- الخدمات المسموح بها للمشترك

شكل (١٢) : سجل الموقع الرئيسي

- مركز التوثيق (AuC) : وهي قاعدة بيانات محمية مرتبطة بشكل رئيس مع سجل الموقع الأساسي HLR مسجل فيها منهج التوثيق والتشيفرة الخاصة بكل مشترك، وتولد الرموز المستخدمة لإتمام عمليتي التوثيق والتشفير (Authentication & Ciphering).



شكل (١٣) : مركز التوثيق

ويتم توليد هذه الرموز بطلب من سجل موقع الزائر VLR المتواجد فيه المشترك ثم يتم تخزينها في سجل HLR وإرسال نسخة عنها إلى سجل VLR.

(وفي الواقع يعتبر مركز التوثيق تابعاً لسجل HLR). شكل (13).

- سجل موقع الزائر(VLR): عبارة عن قاعدة بيانات مؤقتة للمشتركين المتواجدين حالياً في نطاق منطقة المقسم المركزي (MSC)، وهي بيانات مطابقة لتلك الموجودة في سجل الموقع الأساسي للمشتركين (HLR) تجدد كلما دخل هاتف نقال إلى منطقة عملها، وعادة تكون جزءاً من المقسم المركزي (MSC)، ويتم الرجوع إليها في حالة طلب إجراء المكالمة في حالة التوثيق، وعند انتقال المشترك من منطقة إلى أخرى تنتقل المعلومات من سجل VLR القديم إلى سجل VLR الجديد، كما في الشكل (14). ويخزن في السجل مايأتي:

VLR
- بيانات المشتركين
- TMSI
- LAI
- A & C

شكل (١٤) : سجل موقع الزائر

١. بيانات المشترك الموجودة في سجل الموقع الأساسي HLR.

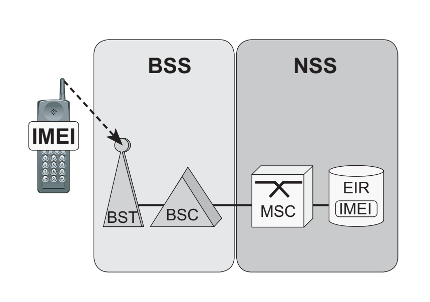
٢ . بيانات تولد وتخزن في سجل موقع الزائر نفسه، مثل:

- رقم هوية المشترك المؤقت TMSI، وهو رقم بديل عن IMSI، ويولد عشوائياً داخل سجل VLR للحفاظ على سرية هوية المشترك.
- رقم المنطقة LAI ليسهل تحديد موقع المشترك.
- رموز التوثيق والتشفير (Authentication & Ciphering triplets).

**الأنظمة الفرعية**

تتكون من سجل هوية الوحدات المتنقلة، ومركز الرسائل القصيرة، ونظام البريد الصوتي.

- سجل هوية الوحدات المتنقلة (EIR): يحتفظ هذا السجل برقم (IMEI) لكل جهاز متنقل، ويسجل فيه ما إذا كان الجهاز المتنقل مصرحاً له بالعمل أولاً؛ وذلك في حال كان الجهاز مسروقا أو موقوفاً عن العمل. الشكل (15) يبين موقع EIR في شبكة GSM.



شكل (١٥): موقع EIR في شبكة GSM

ويتم الرجوع لهذا السجل في حالة التسجيل (Registration) أو طلب اجراء مكالمة، ويحتوي على ثلاثة أنواع من القوائم، هي:

١ . القائمة الرمادية (Gray List): وتحوي رقم IMEI لكل جهاز في حالة الاستخدام المؤقت أو الاستخدام المحدد.

٢ . القائمة السوداء (Black List): وتحتوي على رقم IMEI لكل جهاز موقوف أو مسروق.

٣ . القائمة البيضاء (White List): وتحتوي على مدى من أرقام IMEI المصرح لها باستخدام الشبكة المحلية.

ويرتبط هذا السجل مع أكثر من مقسم مركزي MSC في الشبكة الواحدة التي ترجع إلى هذا السجل للتاكد من صلاحية الوحدات المتنقلة ME.

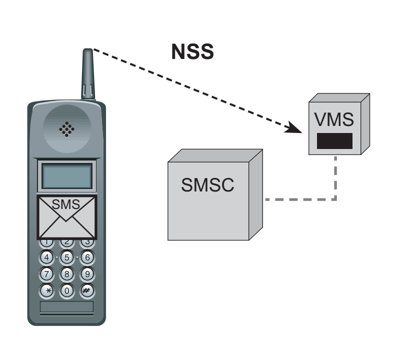
وبناءً على رد سجل هوية الوحدات المتنقلة EIR يتم قبول الهاتف المتنقل أو رفضه؛ لذا يجب تحديث هذا السجل بشكل مستمر، وذلك في حالة إنتاج أجهزة جديدة أو سرقة أجهزة اخرى.

- مركز الرسائل القصيرة (SMSC): وهو نظام يستخدم للتخزين المؤقت في عملية إرسال واستقبال الرسائل القصيرة المتبادلة بين الوحدات المتنقلة بعضها ببعض أو مع مشغلي الخدمة في الشبكة أو مزودي الخدمة المستقلين، وتتصل مع أكثر من مقسم مركزي MSC ومع نظام البريد الصوتي Voice Mail system لاحظ الشكل (16).



شكل (١٦): مركز الرسائل القصيرة

- نظام البريد الصوتي (VMS): عند إغلاق الوحدة المتنقلة أو خروجها خارج نطاق الشبكة يمكن للمتصلين تخزين رسائل صوتية في نظام البريد الصوتي، وسماعها لاحقاً من قبل المشترك، ويتم إعلامه بوجود رسائل صوتية عن طريق مركز الرسائل القصيرة SMSC بإرسال رسالة قصيرة للمشترك، كما يمكن للبريد الصوتي ان يخزن البيانات والفاكس، ويتصل البريد الصوتي مع أكثر من مقسم مركزي MSC، ومع مركز الرسائل القصيرة SMSC. لاحظ الشكل (17).




شكل (١٧): نظام البريد الصوتي

## نظام فرعي التشغيل والصيانة (OMSS)

يتكون نظام فرعي التشغيل والصيانة عادة من نظام دعم التشغيل (OSS)، ونظام التشغيل والصيانة (OMS). كما في الشكل (18).

OMSS
OMS
OSS
OMC-R
OMC-S
NMC
PCS
CCBS

شكل (١٨): نظام فرعي التشغيل والصيانة

### نظام دعم التشغيل (OSS)

ويأتي في قمة الهرم الاداري للتشغيل والصيانة في الشبكة، ويتكون من الاقسام الرئيسة الآتية:

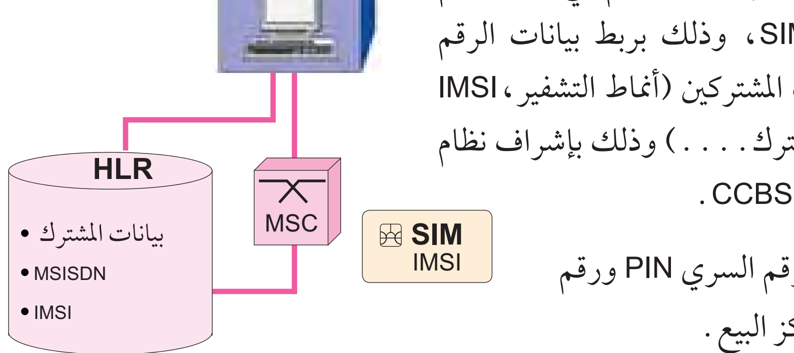
- نظام خدمات المشتركين والفوترة (CCBS)

تتلخص مهام نظام خدمات المشتركين والفوترة بما يأتي:

١. ادارة بيانات المشترك في سجل الموقع الأساسي HLR، وفي بطاقة المشترك SIM.
٢. جمع بيانات الفوترة من المقاسم المركزية MSC ومعالجتها لإصدار الفواتير.
٣. الاتصال مع نقاط البيع المختلفة لتفعيل وتشغيل بطاقات المشترك SIM.
٤. خدمات الاستعلامات للمشتركين.

- نظام إعداد بطاقات هوية المشترك PCS: يتم في هذا القسم تجهيز بطاقات المشتركين SIM، وذلك بربط بيانات الرقم المتسلسل للبطاقة مع بيانات المشتركين (أنماط التشفير، IMSI، الخدمات المسموح بها للمشترك....) وذلك بإشراف نظام خدمات المشتركين والفوترة CCBS.

كما يتم في هذا القسم إعطاء الرقم السري PIN ورقم PUK لكل بطاقة قبل إرسالها إلى مراكز البيع.




شكل (١٩): نظام خدمة المشتركين والفوترة

- مركز إدارة الشبكة NMC: يقوم مركز إدارة الشبكة بالمراقبة والتحكم بمراكز التشغيل والصيانة المختلفة والتنسيق فيما بينها.

**نظام التشغيل والصيانة (OMS)**

يتكون نظام التشغيل والصيانة من مركز أو أكثر من مراكز التشغيل والصيانة (OMC)، وهناك نوعان من مراكز التشغيل والصيانة:

١. مركز لخدمة نظام فرعي محطات القاعدة BSS يسمى OMC–R.

٢. مركز لخدمة نظام فرعي شبكة التحويل المركزية NSS تسمى OMC–S.

يتحكم مركز التشغيل والصيانة بكامل الشبكة، ويقوم بمهام التشغيل والصيانة لكل من نظام فرعي محطات القاعدة BSS ونظام فرعي شبكة التحويل المركزية NSS وتتلخص مهامه فيما يأتي:

١. متابعة ومعالجة الأخطاء.

٢. إدارة مهام المقاسم ومحطات القاعدة والتوسعة الإضافية.

٣. الحصول على قياسات وإحصائيات استعمال الشبكة لضمان الاستخدام الأمثل للشبكة.

يتم الوصول وتشغيل مختلف مراكز التشغيل والصيانة عبر محطات عمل حاسوبية رسومية تؤمن سهولة التشغيل والتحكم بمختلف هذه الأنظمة من قبل العاملين في هذه المراكز.

**نشـــاط (٣):**

بالتنسيق مع شركة الإتصالات الخليوية يقوم الطلاب برفقة مدرسهم بزيارة الشركة.

## خدمات نظام الـ GSM

تقدم شبكة الGSM العديد من الخدمات، منها ماهو مقدم من مشغلي الشبكة، ومنها ماهو مقدم من شركات مستقلة من خلال شبكة الـ GSM، ويمكن تلخيص هذه الخدمات في الفئات الآتية:

### خدمات الإتصال Teleservices

وهي الخدمات المقدمة من شبكة الـ GSM، والتي تؤمن العديد من أنواع الاتصال بين المشتركين، مثل: المحادثة، البيانات والرسائل القصيرة sms، والفاكس.

### خدمة نقطة إلى نقطة Bearer Services

تستخدم هذه الخدمة لتبادل المعلومات وذلك باستخدام الوحدة المتنقلة كجهاز مودم، وهي خدمة تبادل المعلومات، وذلك بربط الوحدة المتنقلة بجهاز الحاسوب لتعمل كمودم اتصال لنقل المعلومات واتصالها مع

حاسوب اخر عبر شبكة GSM أو ربطه مع شبكة البيانات الرقمية . كما في الشكل (20) .



شكل (٢٠) : خدمة نقطة إلى نقطة

يستفاد من هذه الخدمة في :

- نقل الملفات والبرامج من حاسوب إلى آخر أو من وحدة متنقلة إلى وحدة أخرى .
- خدمات الإنترنت والبريد الإلكتروني .

يمكن الحصول على سرعة نقل قصوى تصل إلى 9600bit/s، وحديثا تم ادخال أنظمة مطورة على نظام الـ GSM لزيادة سرعة نقل البيانات ، ويسمى عندها هذا النظام نظام الطور الثاني GSM Phase2 وأبرز هذه الأنظمة . نظام الخدمة العامة لنقل الحزم لاسلكياً (GPRS).

## الخدمات التشغيلية

وهي الخدمات المساندة للاتصالات الهاتفية ، مثل :

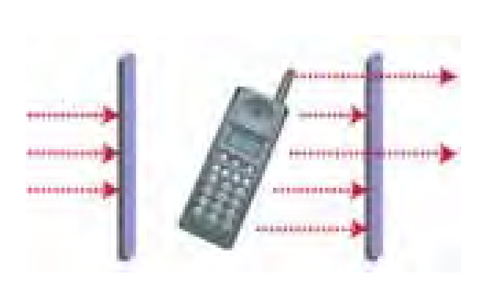
- إظهار رقم المتصل (Caller ID) . الشكل (21) .
- إظهار تكلفة الاتصال .
- مكالمة في الانتظار (Call Waiting) .
- تحويل المكالمات (Call Forwarding) . الشكل (22) .
- حجب المكالمات (Call Parrying) . الشكل (23) .
- التحدث المتعدد (Conference) .



شكل (٢١) : إظهار رقم المتَّصل



شكل (٢٢) : تحويل المكالمات



شكل (٢٣) : حجب المكالمات

### خدمات القيمة المضافة Value Added Services

خدمات تقدمها شبكة ال GSM بالتعاون مع شركاء آخرين بأسعار إضافية وهذه الخدمات قد يحتاجها المشترك يومياً، مثل :

- حركة السير .
- الرحلات وحجز التذاكر .
- الأخبار .
- تقنيات الوسائط المتعددة .

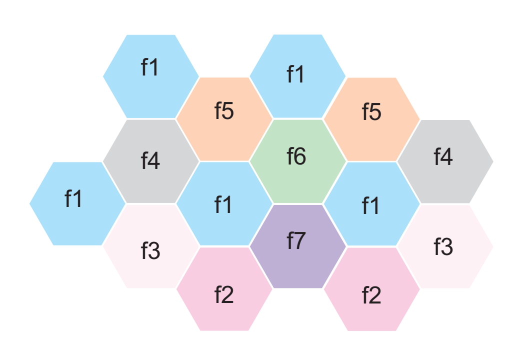
**نشـــاط (٤):**

ابحث في بعض الخدمات التي يقدمها مزود خدمة الإتصالات الخليوية في منطقتك .

## الخصائص الفنية لنظام GSM

### التوزيع الخليوي

يعد التوزيع الخليوي من أهم ما يميز الأنظمة الخليوية حيث يتم تغطية المنطقة الجغرافية بأبراج اتصال تسمى محطات الاتصال الرئيسة BTS، ويغطي كل برج منطقة معينة (خلية)، ويتم توزيع الترددات (القنوات) على الخلايا بحيث لا تستخدم اية خليتين متجاورتين نفس الترددات حتى لا يحدث تداخل بينهما، وبذلك يتم استخدام بعض القنوات الهاتفية ضمن منطقة ما وإعادة استخدامها في منطقة أخرى كما في الشكل (24) .




شكل (٢٤) : التوزيع الخليوي

وقد تستخدم مجموعة من ثلاثة أو سبع خلايا يطلق عليها عنقود (Cluster)، ويمكن أن يتراوح نصف قطر الخلية من 100m في المدن المزدحمة إلى 35Km في المناطق الريفية، وبناءً على ذلك يمكن أن تقسم الخلايا إلى أربعة أقسام، هي :

- Macro cell : ويصل نصف قطرها إلى 35Km .
- Umbrella cell : ويصل نصف قطرها إلى 10Km.
- Mini cell : يصل نصف قطرها إلى 1Km.
- Micro cell : يصل نصف قطرها من 100m إلى 300m.

يستخدم الشكل السداسي عادة لسهولة التصميم ولكن عملياً تكون التغطية دائرية .

**التصميم والتخطيط**

يعتمد عدد الخلايا وحجمها على :

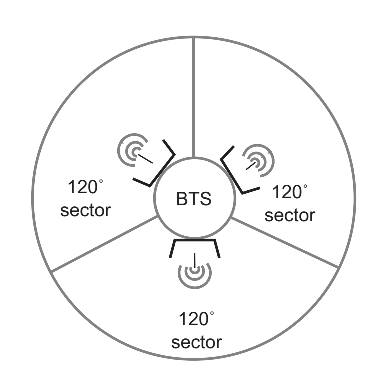
- مساحة المنطقة المراد تغطيتها .
- المسافة بين الوحدات المتنقلة ومحطة الاتصال الرئيسة .

- طبيعه المنطقة الجغرافية، وما إن كان هناك موانع طبيعية، مثل الهضاب والجبال أو كانت منطقة منبسطة وما إن كانت منطقة مدنية أو ريفية.
- عدد المشتركين في تلك المنطقة.

ويستخدم عادة ثلاثة هوائيات قطاعية لكل برج بحيث يغطي كل هوائي خلية لتردد يختلف عن تردد الهوائي المجاور كما في الشكل (25)، ويؤمن التوزيع الخليوي المزايا الآتية:

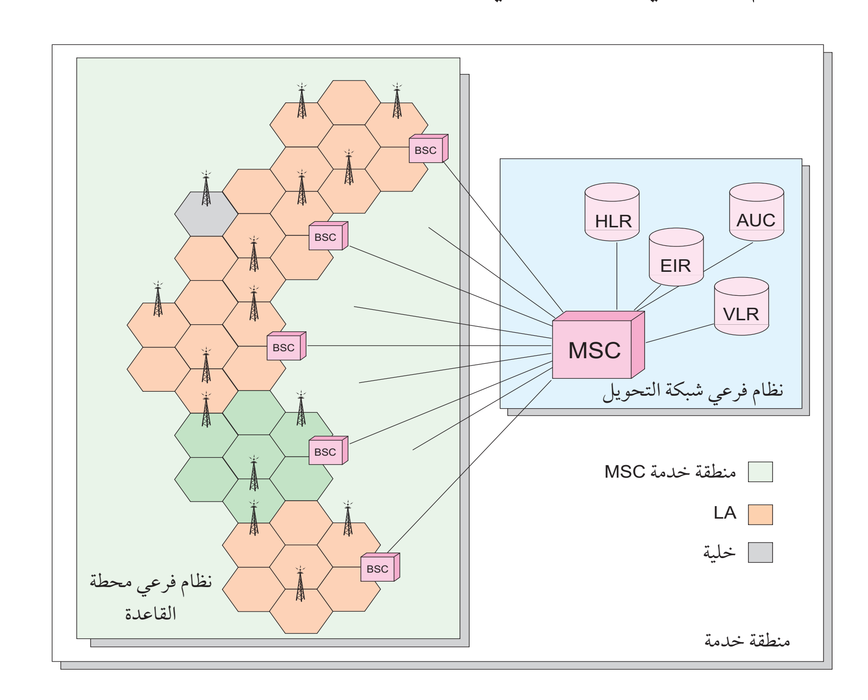
- زيادة سعة واستيعاب النظام.
- طاقة إرسال قليلة.
- إمكانية زيادة منطقة التغطية بسهولة.






شكل (٢٥): الهوائيات القطاعية

كل مجموعة أبراج في عنقود (Cluster) ما يتحكم بها نظام التحكم بمحطات القاعدة BSC التي تتصل مع المقسم الأساسي MSC كما في الشكل(26).




شكل (٢٦): منطقة خدمة MSC

## نقل البيانات

في الوحدة المتنقلة يتم تحول البيانات لتنقل بإحدى سرعتين، هما :

- معدل النقل الكامل Full Rate وسرعتها 13Kbit /s .
- معدل النقل النصفي Half Rate وسرعتها 6.5Kbit /s .

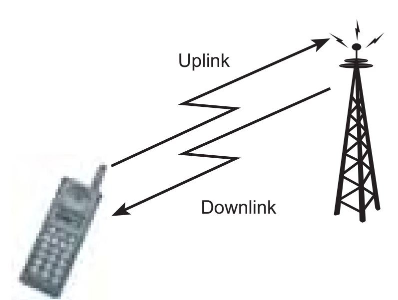
وفي محطات القاعدة BTS وأنظمة التحكم فيها تضاف بعض البيانات لتصل سرعة نقل البيانات إلى 16Kbit /s وقبل نقلها إلى المقسم المركزي يتم دمج 120 منها لتصل إلى سرعة 2Mbit/s (PCM30)

## الخصائص الراديوية

الجدول الآتي يبين بعض الخصائص الراديوية لأنظمة GSM المختلفة .

| الخـاصية | النظام | | |
|---|---|---|---|
| | E-GSM 900 | GSM 1800 | GSM 1900 |
| نطاق تردد الإرسال (Uplink) | 880-915MHz | 1710-1785MHz | 1850-1910MHz |
| نطاق تردد الاستقبال (Downlink) | 925-960MHz | 1805-1880MHz | 1930-1990MHz |
| عرض النطاق الكلي (Bandwidth) | 2*35MHz | 2*75 | 2*60MHz |
| النطاق الفاصل (Carrier Separation) | 200 KHz | | |
| المسافة المزدوجة (Duplex Distance) | 45MHz | 95MHz | 80MHz |
| عدد القنوات المزدوجة | 175Ch | 373Ch | 300Ch |
| نظام الوصول (Access Method) | TDMA/FDMA | | |
| عدد القنوات الصوتية لكل قناة مزدوجة | 8 | | |
| نظام التضمين (Modulation Method) | GMSK | | |

تم إصدار عدد من أنظمة GSM لتناسب الترددات المتاحة في العديد من دول العالم، فعلى سبيل المثال يستخدم نظام GSM 900 في أوروبا ومعظم دول آسيا وإفريقيا، في حين يستخدم نظام GSM 1800 في الولايات المتحدة الأمريكية :




١ . نطاق تردد الإرسال Uplink : هو نطاق الترددات الذي تستخدمه الوحدة المتنقلة في إرسال المعلومات إلى محطة اتصال القاعدة .

٢ . نطاق تردد الاستقبال Downlink : هو نطاق الترددات الذي تستخدمه الوحدة المتنقلة في استقبال المعلومات من محطة اتصال القاعدة .

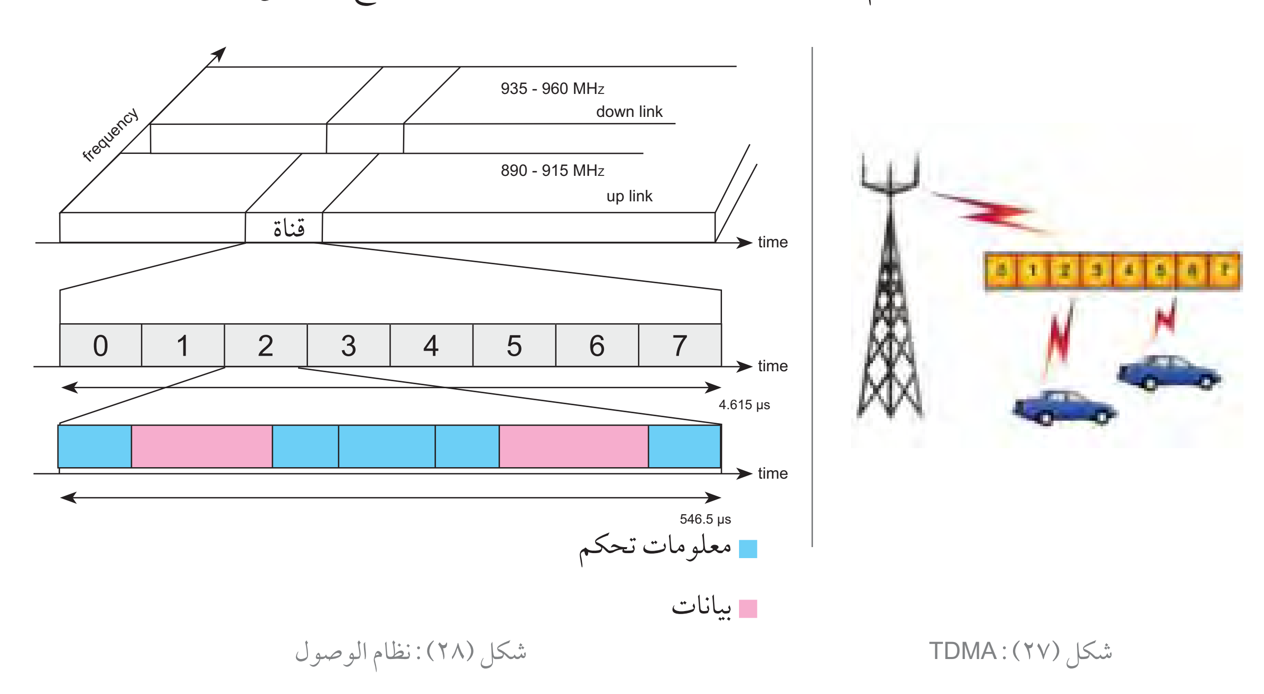
٣ . عرض النطاق الكلي Bandwidth : هو عرض النطاق الكلي لترددات الإرسال والاستقبال المستخدمة في نظام GSM .

٤ . النطاق الفاصل Carrier Separation : هو عرض النطاق لترددات قناة الاتصال .

٥ . المسافة المزدوجة Duplex Distance : هو مقدار الفرق بين تردد قناة الإرسال وقناة الاستقبال للوحدة المتنقلة خلال عملية الاتصال .

٦ . عدد القنوات المزدوجة : هو عدد القنوات الكلية التي يستخدمها نظام GSM ، ولزيادة السعة يتم توزيع هذه القنوات على الخلايا وإعادة استخدام نفس القنوات في خلايا غير متجاورة .

٧ . نظام الوصول Access Method وعدد القنوات : بالإضافة إلى أن نظام GSM يستخدم التقسيم الترددي في توزيع الترددات على الخلايا وعلى القنوات ضمن نفس الخلية فهو يستخدم الوصول بالتقسيم الزمني المتعدد TDMA حيث توزع القناة الواحدة بين ثماني وحدات متنقلة في حالة معدل النقل الكامل Full rate أو 16 وحدة متنقلة في حالة معدل النقل النصفي Half rate ضمن شريحة زمنية واحدة (Time Slot) مدتها 4.615ms ، وكل وحدة متنقلة تستخدم 546.5us ينقل فيها المعلومات وبيانات التزامن والتحكم بالإضافة إلى وجود فترات زمنية للحماية ومنع التداخل .




شكل (٢٨) : نظام الوصول

شكل (٢٧) : TDMA

## نظام التضمين Modulation Method

يستخدم تضمين GMSK في الإرسال والاستقبال بين الوحدة المتنقلة ومحطة القاعدة ، ويتميز بضيق النطاق المستخدم ؛ مما يقلل من عرض النطاق الكلي للإرسال وتقليل التداخل بين القنوات المتجاورة .

## قنوات الاتصال

تستخدم العديد من قنوات الاتصال بين الوحدة النقالة ومحطة اتصال القاعدة ، وتنقسم إلى قنوات نقل المعلومات ، وقنوات التحكم .

- قنوات نقل المعلومات (TCH) : وتستخدم لنقل معلومات المتصل من صوت ونص وغيره بإحدى سرعتين Full rate أو Half rate.

- قنوات التحكم (CCH) : وتستخدم لنقل كل ما يتعلق بامور التحكم والتفاهم بين الوحدة المتنقلة ومحطة القاعدة. وتقسم إلى ثلاثة أنواع فرعية :

١. قناة التحكم بالبث BCCH : تستخدم لبث معلومات التعريف، مثل رقم هوية مشغل نظام GSM وترددات الأبراج المستخدمة وتبث باتجاه واحد من قبل محطات القاعدة إلى الوحدات المتنقلة.

٢. قناة التحكم المشتركة CCCH : وتستخدم لإجراء عملية التوثيق ولاشعار الوحدة المتنقلة بوصول مكالمة وكذلك لطلب اجراء مكالمة من قبل الوحدة المتنقلة.

٣. قناة التحكم المكرسة DCCH : وتستخدم لتحديث الموقع وإرسال واستقبال الرسائل القصيرة.

## آليات العمل

### تحديث الموقع (Location Update)

بسبب التنقل داخل شبكة GSM لابد من تحديث معلومات الموقع للوحدات المتنقلة ME في سجلات الشبكة (سجلات الزوار VLR وسجلات الموقع الرئيس HLR)، وتحدث هذه العملية في كل مرة يتم فيها :

- تشغيل الوحدة المتنقلة.
- فصل الوحدة المتنقلة أو خروجها خارج نطاق الخدمة.
- التنقل خلال مناطق الشبكة المختلفة.

### الأمان والسرية (التوثيق Authentication والتشفير Ciphering)

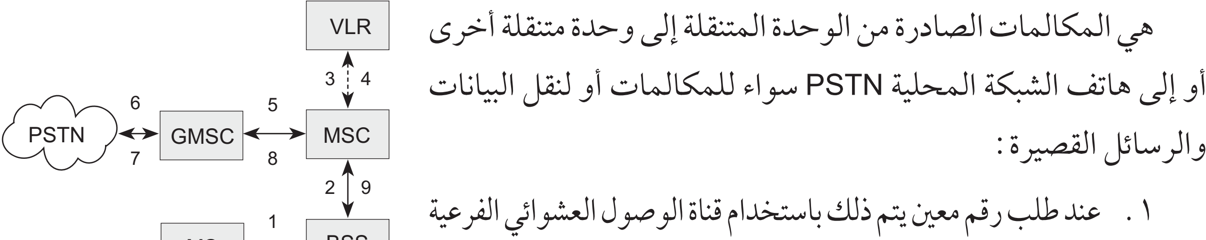
**التوثيق:** وهي العملية التي تمكن نظام GSM من التأكد من هوية المشترك ومنع عمليات الاحتيال ومنع بطاقات هوية المشترك المفصولة أو المسروقة من العمل على الشبكة، وتتم هذه العملية قبل :

- عملية تحديث الموقع.
- إجراء مكالمة.
- استقبال مكالمة.
- إرسال البيانات والرسائل القصير.

**التشفير:** وهي عملية يتم فيها تأمين مسار المكالمات والبيانات ومنع اعتراضها واستقبالها بين الوحدة المتنقلة والمحطة الأساسية عبر تشفيرها، ويجب أن يستخدم كل من الوحدة المتنقلة ومحطة الاستقبال نفس رمز التشفير لضمان تشفير وفك التشفير بشكل صحيح.


شكل (٢٩) : التشفير

## المكالمات الصادرة



شكل (٣٠) : سير المكالمات الصادرة

هي المكالمات الصادرة من الوحدة المتنقلة إلى وحدة متنقلة أخرى أو إلى هاتف الشبكة المحلية PSTN سواء للمكالمات أو لنقل البيانات والرسائل القصيرة :

١ . عند طلب رقم معين يتم ذلك باستخدام قناة الوصول العشوائي الفرعية في CCCH، ويتم ارسال طلب اجراء اتصال إلى محطة اتصال القيمة BTS، ومنها إلى نظام التحكم في محطات القاعدة BSC.

٢ . يؤمن نظام التحكم بمحطات القاعدة BSC اتصالاً بين الوحدة المتنقلة والمقسم المركزي MSC وتبدأ عندها عملية التوثيق Authentication مع سجل الزوار VLR.

٣ . بعد نجاح عملية التوثيق يبدأ عمل نظام التشفير بين الوحدة المتنقلة ومحطة اتصال القاعدة بناءً على معطيات عملية التوثيق .

٤ . بعدها ترسل الوحدة المتنقلة باستخدام إحدى قنوات الترقيم رقم الهاتف المطلوب إلى المقسم المركزي MSC عبر محطة القاعدة BTS ونظام التحكم بمحطات القاعدة BSC.

٥ . يحدد المقسم موقع الوحدة المتنقلة المطلوبة بالرجوع إلى سجل موقع الزائر VLR.

٦ . يقوم المقسم الرئيس MSC بحجز قناة اتصال مع الوحدة المتنقلة وتصله مع الوحدة المتنقلة الأخرى عبر نظام التحكم بمحطات القاعدة BSC، ومحطة اتصال القاعدة BTS.

٧ . واذا كان الرقم المطلوب هاتفاً ثابتاً فإن المقسم MSC يحول خط الاتصال عبر بدالة البوابة الرئيسة GMSC إلى شبكة الاتصالات العامة PSTN .

## المكالمات الواردة

وهي المكالمات التي تصل هاتفاً ثابتاً في شبكة الاتصالات العامة مع وحدة متنقلة في نظامGSM وتتم كما يأتي :

١ . عند طلب رقم وحدة متنقلة من قبل هاتف ثابت في شبكة الاتصالات العامة فإن طلبه يحول إلى أقرب مقسم بوابة GMSC.

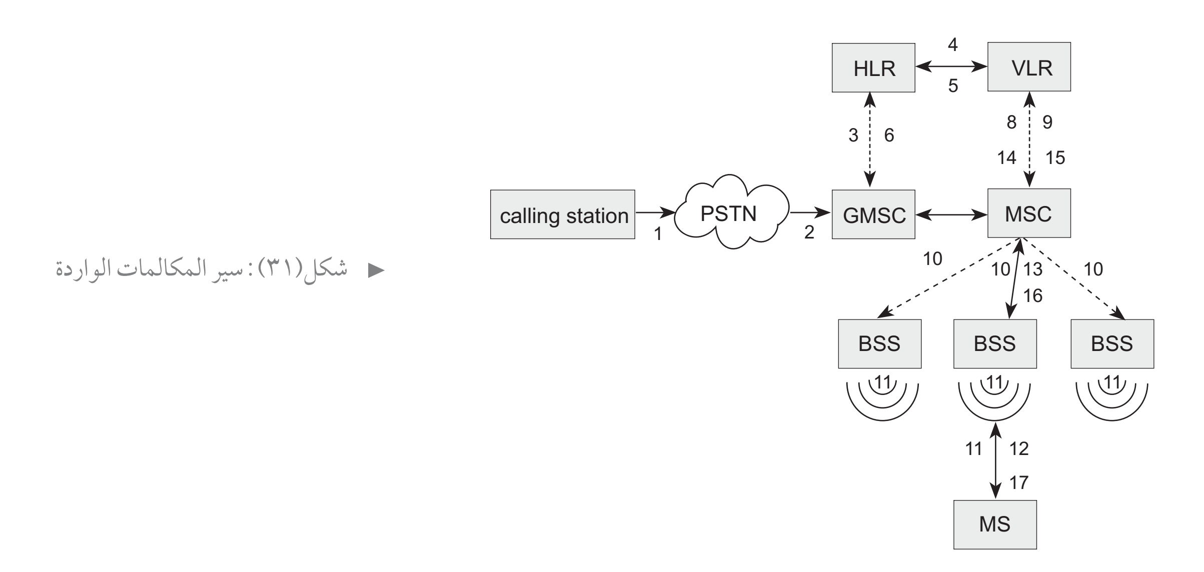
٢ . يقوم مقسم GMSC باستشارة سجل الموقع الرئيس HLR لتحديد موقع الوحدة المتنقلة المطلوبة وتحديد موقع سجل الزائر VLR الذي حدث فيه آخر تحديث لموقع الوحدة المتنقلة المطلوبة .

٣ . يقوم سجل موقع الزائر بفحص وضع الوحدة المتنقلة اذا كان مغلقاً أو مشغولاً .

٤ . إذا كانت الوحدة المتنقلة غير مغلقة أو مشغولة فإن وحدة التحكم في محطات القاعدة BSC ستطلب من محطات القاعدة BTS في منطقة الوحدة المتنقلة إرسال إشارة PAGING، وتنتظر محطات القاعدة استجابة الوحدة المتنقلة .

٥ . بعد استجابة الوحدة المتنقلة تبدأ إجراءات عملية التوثيق والتشفير .

٦ . بعد نجاح عملية التوثيق والتشفير يتم تفعيل قناة اتصال بين هاتف الشبكة العامة والوحدة المتنقلة .

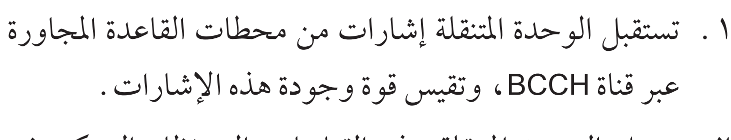



▸ شكل (٣١) : سير المكالمات الواردة

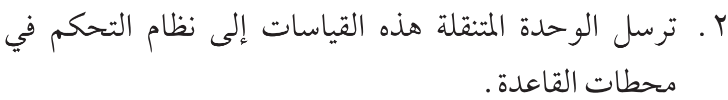
## المناولة Handover

بسبب طبيعة التنقل للمستخدم فإن على محطة اتصال القاعدة والوحدة المتنقلة الحفاظ على الاتصال بينهما، وهذا يتطلب تغير شدة طاقة إشعاع الوحدة المتنقلة لتناسب بعدها عن محطة القاعدة، وفي حال زيادة المسافة عن حد معين فإنه يتطلب تغيير الاتصال إلى محطة قاعدة أقرب، وهذه العملية تسمى المناولة Handover .

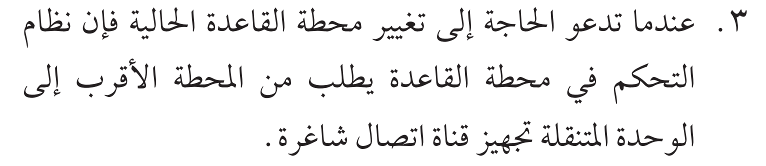
وتتم كما يلي :



١ . تستقبل الوحدة المتنقلة إشارات من محطات القاعدة المجاورة عبر قناة BCCH، وتقيس قوة وجودة هذه الإشارات .



٢ . ترسل الوحدة المتنقلة هذه القياسات إلى نظام التحكم في محطات القاعدة .



٣ . عندما تدعو الحاجة إلى تغيير محطة القاعدة الحالية فإن نظام التحكم في محطة القاعدة يطلب من المحطة الأقرب إلى الوحدة المتنقلة تجهيز قناة اتصال شاغرة .



شكل (٣٢) : المناولة

٤ . يرسل نظام التحكم في محطات القاعدة BSC معلومات القناة الجديدة إلى الوحدة المتنقلة، ويطلب منها التحول إلى محطة القاعدة الجديدة واستخدام قناة الاتصال الشاغرة . لاحظ الشكل (32) .

تحدث هذه العملية بسرعة عالية، ولا يشعر المستخدم بأي انقطاع في الاتصال، وقد تتم عملية التسليم بين محطتي قاعدة ضمن نفس المنطقة التابعة لنظام تحكم في محطات قاعدة أو بين محطتي قاعدة تابعتين إلى نظامي تحكم في محطات القاعدة في منطقتين مختلفتين .

### التجوال Roaming

ميزة تمكن المشتركين من استخدام الوحدة المتنقلة ضمن شبكة اتصالات خلوية أخرى، وقد تكون هذه الشبكة في نفس الدولة أو في دولة اخرى وعندها تسمى هذه الميزة تجوالاً دولياً (International Roaming)، وهذه الميزة تمكن الشخص من البقاء على اتصال باستخدام رقمه الاصلي ولا يحتاج الشخص الطالب معرفة موقع الشخص المطلوب وكأنه مازال ضمن نفس الشبكة، ولابد من اتفاق الشركات فيما بينهالاستخدام هذه الميزة.

**نشـــاط (٥):**

ناقش مع مدربك كيف يكون التجوال ضمت نفس الدولة.

## التقنيات الحديثة المستخدمة في أنظمة الهواتف الخليوية

### تقنية GPRS

تعد تقنية GPRS تقنية التطور نحو الجيل الثالث G3 وأصبح هذا النظام جزءاً اساسياً من أنظمة GSM الحديثة. ويوفر سرعة نقل بيانات مقبولة.

**التقنية المستخدمة:**

- استخدام قنوات TDMA غير المستخدمة حيث يتم حجز أكثر من مسار ضمن القناة الواحدة تتراوح سرعة نقل البيانات بين 30Kbit /s و80Kbit/s (باستخدام ٤ مسارات) ويمكن زيادة سرعة نقل البيانات بزيادة عدد المسارات لتصل سرعة النقل مابين 160Kbit /s و236.8Kbit /s.
- تستخدم تقنية Packet switching حيث تمكن عدة مستخدمين من تقاسم قناة النقل الواحدة.

**ميزات التقنية:**

- سرعة نقل بيانات مقبولة مقارنة مع نظام GSM العادي.
- استخدامها في العديد من تطبيقات نقل المعلومات، مثل الانترنت والوسائط المتعددة.
- غير مكلفة وملائمة للتطبيقات البسيطة (تصفح الإنترنت والبريد الإلكتروني).

### تقنية EDGE

تستخدم هذه التقنية لتحسين عمل تقنية GPRS، وتسمى أحياناً EGPRS (Enhanced GPRS)، وتشغل على اية شبكة GSM تعمل بنظام GPRS.

وتحسن هذه التقنية من عمل الخدمات التي تقدمها GPRS وذلك بتوفيرها لسرعة نقل بيانات عالية تصل

إلى 236.8Kbit /s، وهي تفي بأدنى متطلبات الجيل الثالث من الهواتف المتنقلة؛ لذا يتوجه أغلب المشغلين مباشرة نحو UMTS (الجيل الثالث) .

**التقنية المستخدمة :** بالإضافة إلى تقنية GMSK تستخدم EDGE تقنية تضمين 8PSK، مما يوفر إضافة في عدد المسارات المستخدمة، ويزيد من سرعة نقل البيانات .

### الجيل الثالث (UMTS -IMT2000)

بدأت أنظمة الجيل الثالث بالظهور منذ 2001 في اليابان وكوريا الجنوبية ومن ثم انتشرت في العديد من دول العالم وأصبحت المعيار الأساسي للشركات، وبتوفيره سرعة نقل بيانات عالية حتى 1920Kbit /s (حاليا 384Kbit /s) أصبح هذا النظام مفضلاً على الأنظمة السابقة، ويمكن إدخال تقنيات إضافية عليه لتصل سرعة نقل البيانات في الاستقبال إلى 14.4Mbit /s(حالياً في اليابان) .



شكل (٣٤) : جهاز خليوي(الجيل الثالث)

**التقنية المستخدمة :** يعمل نظام UMTS ضمن النطاق الترددي 1900MHz في الإرسال والنطاق 2100MHz في الاستقبال، ويستخدم عرض نطاق 5MHz لكل من قناتي الإرسال والاستقبال، ويستخدم تقنية الوصول WCDMA الحديثة، ويتميز بما يأتي :

١ . سهولة تطوير أنظمة GSM الحالية لتعمل بهذا النظام نظراً لوجود العديد من التجهيزات المشتركة بينهما .

٢ . استخدام أمثل للنطاق الترددي لاعتماده على أنظمة WCDMA في تقنيات الوصول .

٣ . سرعة نقل بيانات عالية .

٤ . نقل الوسائط المتعددة بكفاءة جيدة (نقل الفيديو ومشاهدة حية للمتحدثين )

٥ . الاتصال الدائم بالإنترنت .

٦ . ميزة تجوال عالمي Global Roaming، إذ يمكن استخدام وحدات متنقلة بتقنية UMTS /GSM Dual Mode لتعمل على شبكات GSM في حال عدم وجود تغطية UMTS.

## أنظمة الهواتف اللاسلكية

استخدمت الهواتف اللاسلكية بشكل كبير وانتشرت بسبب حرية الحركة للمستخدم أثناء اتصاله مع شبكة الاتصالات العامة PSTN عن طريق اتصال الوحدة المتنقلة بمحطة القاعدة اللاسلكية CBS والتي بدورها تتصل

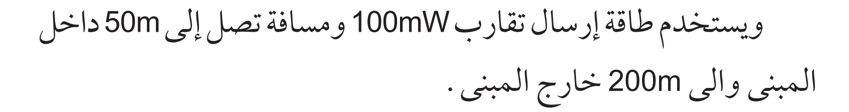
سلكياً بشبكة الاتصالات العامة PSTN وقد تم اعتماد أنظمة ومعايير لأجهزة الهواتف اللاسلكية، منها :

### الجيل الثاني من الهواتف اللاسلكية CT2



شكل (٣٥) : هاتف لا سلكي

طور هذا النظام لكي يحل محل نظام CT1 التماثلي، والذي كان يعاني من رداءة الاتصال داخل المباني وتعرضه المستمر للتشويش والتداخل بالإضافة لسهولة تعرضه للتنصت؛ لذا طور النظام CT2 الرقمي الذي تجاوز الإشكالات السابقة، ويعمل في داخل المباني وخارجها وضمن النطاق الترددي من (864MHz إلى 868MHz) ويستخدم 40 قناة ثنائية الاتجاه (Duplex Channel).



ويستخدم طاقة إرسال تقارب 100mW ومسافة تصل إلى 50m داخل المبنى والى 200m خارج المبنى .

TDD: هو نظام تقسيم زمني ثنائي فيه يتم تقسيم الزمن بين الإرسال والاستقبال.

### الهاتف اللاسلكي الرقمي المحسن DECT

وهو في الأصل نظام أوروبي للهواتف اللاسلكية، ويعمل بالتقنية الرقمية طور ليؤمن وصول متعدد للمستخدمين وعند استخدامه مع المقسم الخاص الفرعي PBX يحسن من أدائه بحيث يمكن الوصول إلى الهواتف الفرعية لاسلكياً، وبذلك يماثل عمله النظام الخليوي في تقسيمه لمناطق الاتصال إلى خلايا؛ لذا يعد امتداداً لنظام GSM داخل المباني .



شكل (٣٦) : هاتف لا سلكي

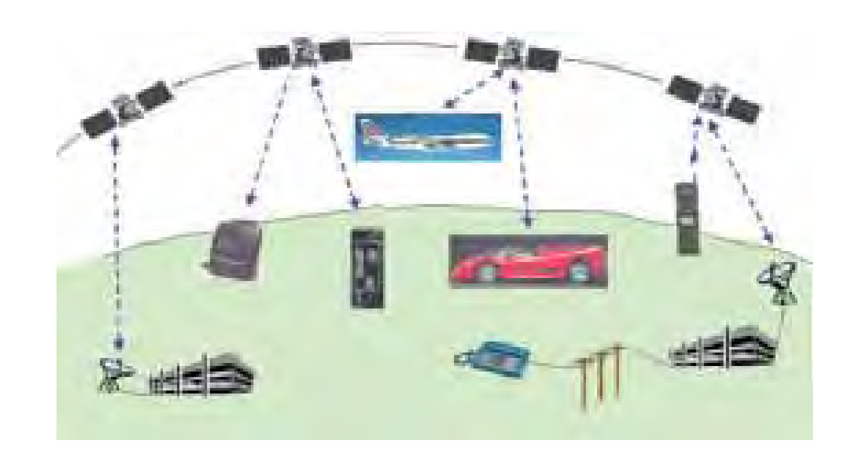
ويعمل في نطاق تردد 1.9GHz ويستخدم تقنيات الوصوت TDMA وFDMA وينقل البيانات بسرعة تصل إلى 32Kbit /s ويحتوي120 قناة ثنائية الاتجاه، ويستخدم نظام التقسيم الزمني الثنائي TDD في تقسيم الزمن بين الإرسال والاستقبال، ويبث بطاقة إشعاعية تصل إلى 10mW ومسافة تقترب من 200m وباستخدام وحدات متنقلة ثنائية النمط (Dual mode) يمكن استخدام نظام DECT داخل المبنى ونظام GSM خارجه .

## هواتف الأقمار الصناعية

إن قدرة الأقمار الصناعية على تغطية مناطق واسعة من الكرة الأرضية وعدم تاثرها بالتضاريس الجغرافية جعلها الحل الأمثل لتقديم خدمة الاتصالات خاصة في المناطق النائية التي لا تتوفر فيها بنية تحتية للاتصالات بالإضافة إلى خدمات الإنترنت وتحديد الموقع GPS وتتلخص هذه التقنية بتوزيع مجموعة من الأقمار الصناعية في مدارات منخفضة الموقع تغطي كل منها منطقة جغرافية معينة، ويتم التواصل بين الأقمار والمحطات الأرضية لنقل الاتصال

إلى الشبكات الأرضية كما تتصل الأقمار فيما بينها لنقل الاتصال إلى مناطق جغرافية أخرى كما في الشكل (37)، ومن الأمثلة على هذه الأنظمة نظام أريديوم والثريا، فمثلاً يتكون نظام أريديوم من 66 قمراً صناعياً تغطي كامل مساحة الكرة الأرضية حيث يتمكن المستخدم عن طريق هاتفه التحدث مع أي شخص في أي مكان في العالم سواء أكان في اليابسة أو في البحار أو في الجو على متن الطائرات، والخصائص الفنية لنظام أريديوم، هي كما يأتي :

- 66 قمراً صناعياً بالإضافة إلى 6 أقمار احتياط .
- ارتفاع الأقمار عن سطح الارض يبلغ 780Km.
- يستخدم المدى L–Band 1.6MHz بين الأجهزة المتنقلة والأقمار الصناعية .
- يستخدم المدى K–Band 23GHz بين الأقمار الصناعية بعضها عن بعض .
- يستخدم تقنيات FDMA وTDMA.
- سرعة نقل تصل إلى 9.6Kbit /s.



شكل (٣٧) : نظام هواتف الأقمار الصناعية



شكل (٣٨) : هواتف أقمار صناعية

## بلوتوث Bluetooth 




تعد من تقنيات الاتصال الحديثة التي انتشرت مؤخراً، وتستخدم بكثرة في مجال نقل المعلومات والاتصالات بين الأجهزة المختلفة والمتنقلة وصممت في البداية لتحل محل الكوابل في المدى القصير، ثم ما لبثت أن أصبحت بنية اساسية للشبكات الشخصية وبسرعة نقل تصل 742Kbit /s، وتعمل في المدى الترددي من 2.402GHz إلى 2.480GHz، وتتميز بما يأتي :



١ . سهولة الاستخدام.



٢ . نظام عالمي موحد .

٣ . رخص ثمنها .

٤ . نقل الصوت والبيانات معا .



وتتوفر ثلاث فئات من البلوتوث بناءً على طاقة الإرسال، هي :

| الصنف | القدرة (mW) | المدى (متر) |
|---|---|---|
| صنف A | 100 | 100 |
| صنف B | 2.5 | 10 |
| صنف C | 1 | 1 |

وطاقة البث المنخفضة هذه تقلل من التداخل بين الأجهزة التي تعمل ضمن نفس المدى، ولا يتطلب خط رؤية بين طرفي الاتصال ويتم التحكم بمستوى طاقة الإرسال تلقائياً لتبقى ضمن أقل مستوى ممكن؛ مما يجعله مناسبا للعمل داخل الغرف .

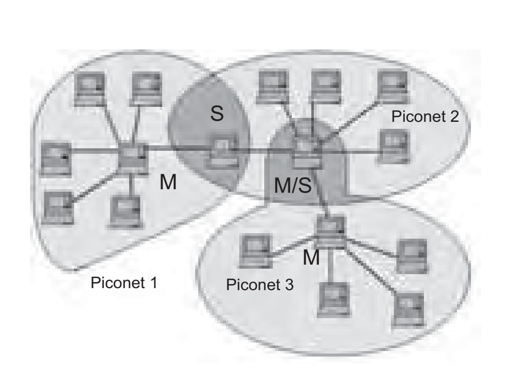
يمكن لتقنية البلوتوث أن تربط بين ثمانية أجهزة ضمن دائرة لايزيد قطرها عن مدى الصنف المستخدم يعمل على تغير ترددات الإرسال 1600 مرة في الثانية لـ79 قناة، وتسمى هذه العملية قفزات التردد Frequency hopping وترسل البيانات بطريقة تحويل الحزمة (Packet switch) .

يمكن للبلوتوث تكوين نوعين من شبكات الاتصال، وهما :

١ . **بيكونت Piconet** : حيث ترتبط الأجهزة بطريقة سيد/ تابع master/ slave ويمكن ربط ثمانية أجهزة بعضها مع بعض، ويعرف احدها بانه سيد master لينظم عمل السبعة الباقين والتي تعرف بأنها تابعة Slave ويمكن في أي وقت تبديل حالة أحدها من حالة إلى أخرى .

٢ . **سكاترنت Scatternet** : حيث يمكن توصيل شبكتين Piconet أو اكثر ترتبطان ببعضهما عبر جهازين؛ مما يمكن من نقل المعلومات كما في الشكل(39) .

ما يميز البلوتوث بأن الأجهزة المزودة بها تتعرف تلقائياً بعضها على بعض بمجرد وجودها ضمن مدى الإرسال، ولا يتطلب إلا الموافقة على تبادل المعلومات من قبل المستخدمين، ويحتوى نظام البلوتوث كأي نظام لاسلكي حديث على أنظمة تشفير مختلفة بالإضافة إلى أرقام سرية للحفاظ على السرية ومنع التطفل . وتستخدم تقنية البلوتوث في العديد من التطبيقات، مثل نقل البيانات والصوت والهواتف اللاسلكية وتأمين الوصول إلى الشبكات المحلية .




شكل (٣٩) : سكاترنت

## الواي فاي WiFi

هي سلسلة من المنتجات اللاسلكية المتوافقة المعايير للاستخدام مع الشبكات المحلية اللاسلكية WLAN، وتمكن الأجهزة والحواسيب المحمولة والهواتف بتقنية VoIP للاتصال مع الإنترنت لاسلكياً. الشكل(40) يبني أحد الشبكات اللاسلكية.

تعتمد الواي فاي على معايير IEEE 802.11 ومن هذه المعايير :



شكل (٤٠) : شبكة لا سلكية (WiFi)

| المعيار | التردد | المدى | السرعة | الأجهزة | التوافق |
|---|---|---|---|---|---|
| 802.11b | 2.4GHZ | حتى 90m داخل المباني. | 11Mbit/s | الحواسيب المحمولة والهواتف المتنقلة. | يتأثر بأجهزة الهاتف اللاسلكية التي تعمل بنفس التردد. |
| 802.11g | 2.4GHZ | 45m داخل المباني. | 54Mbit/s | الحواسيب المحمولة. | يتأثر باجهزة الهاتف اللاسلكية التي تعمل بنفس التردد. |

كما ان هناك معايير حديثة تعمل ضمن تردد 10GHz وتعد بالوصول إلى عدة كيلومترات، مثل IEEE 802.16 (WiMAX).

تستخدم تقنية الواي فاي بشكل تجاري لتقديم خدمة الانترنت لاسلكياً كما في المقاهي والمطارات والجامعات عبر مايسمى نقاط وصول Access point، وتسمى منطقة التغطية (Hot spot).

من ميزات تقنية الواي فاي :

١. استخدامها لنطاق ترددي حر(لايحتاج إلى ترخيص).

٢. تقليل تكلفة بناء الشبكات المحلية LAN.

٣. رخيصة الثمن؛ مما جعلها متوفرة بشكل كبير في الأجهزة المحمولة.

٤. توفيرها للحماية ضد التطفل.

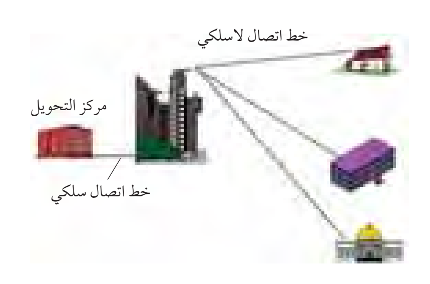
٥. معيار عالمي مما يعني امكانية استخدام الاجهزة في معظم دول العالم.

الواي ماكس (WiMAX): تقنية توفر الإتصال بالإنترنت لا سلكياً وهي تشبه الواي فاي في عملها إلا أن منطقة التغطية في هذه التقنية تكون أكبر بحيث تصل إلى 50Km.

## الدارة المحلية اللاسلكية (Wireless Local Loop)

نظام لربط المشتركين بشبكة الاتصالات العامة PSTN لاسلكياً بدل الكوابل النحاسية، كما في الشكل (40) وتستخدم هذه التقنية في العديد من البلدان خاصة النامية منها، وتتميز بالخصائص الآتية :

١. عدم توفر بنية تحتية جاهزة.



شكل (٤٠) : الدارة المحلية الاسلكية

٢ . طلب مؤقت للخدمة الهاتفية .

٣ . الكلفة المتدنية (مقارنة مع تمديد الكوابل النحاسية وصيانتها) .

٤ . سرعة تركيب وتشغيل عالية .

٥ . حرية التنقل ضمن منطقة التغطية .

يمكن أن يستخدم نمطان للاتصال ، هما :

١ . نمط النطاق الضيق ويستخدم كبديل عن الهواتف الثابتة .

٢ . نمط النطاق العريض لنقل الصوت والبيانات بسرعة عالية .

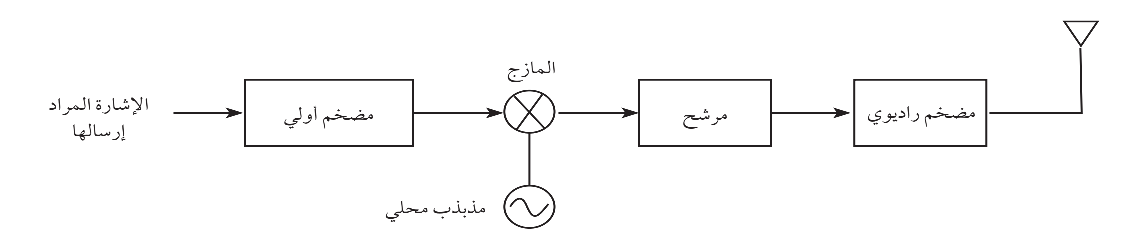
وتبنى هذه الأنظمة بالاعتماد على الأنظمة الخليوية والأقمار الصناعية وأنظمة لاسلكية خاصة .

## انظمة الإرسال والاستقبال اللاسلكية

تقوم أجهزة الإرسال بتحويل البيانات إلى إشارات لاسلكية تبث عبر هوائيات الإرسال لتصبح موجات كهرومغناطيسية وتلتقط هذه الموجات من قبل هوائيات أجهزة الاستقبال لتتحول مرة أخرى إلى إشارات كهربائية ، ومن ثم إلى بيانات كما كانت سابقا .

### أجهزة الإرسال

يتكون جهاز الإرسال من عدد من المراحل تؤدي كل مرحلة وظيفة محددة ، وتختلف أجهزة الإرسال تبعاً لنوع التضمين ونوع المعلومات والترددات والتشفير وغيرها ، لكنها جميعاً تحتوي على وحدات أساسية رئيسة يبين الشكل (41) جهاز تضمين اتساع ويتكون من الوحدات الآتية :



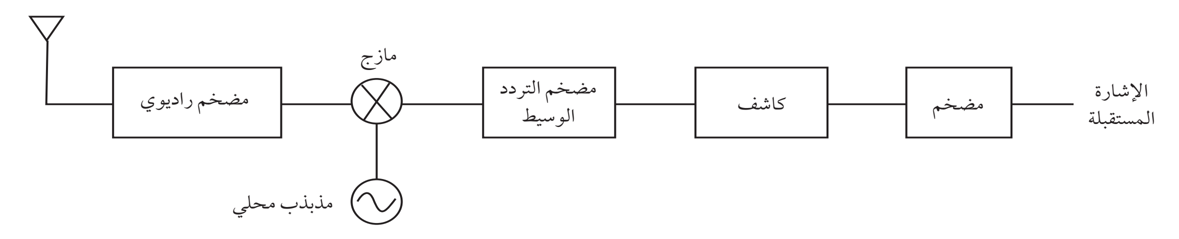
شكل (٤١) : جهاز تضمين اتساع

- **مضخم أولي** : يقوم بتضخيم إشارات المعلومات لتصبح في مستوى ملائم .
- **وحدة التضمين** : تقوم برفع تردد اشارة المعلومات لتصبح ضمن النطاق الترددي المرغوب ، ويستخدم مذبذب محلي لتحديد التردد المطلوب .
- **وحدة المرشح** : تمنع مرور الترددات الجانبية غير المرغوب فيها

- **مضخم قدرة** : يضخم الإشارة إلى مستويات تعتمد على مدى الإرسال المرغوب ، وقد يتكون من عدد من المراحل .
- **الهوائي** : هو المرحلة الأخيرة التي عندها تتحول الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسة .

## جهاز الاستقبال

يحتوي جهاز الاستقبال على وحدات مشابهة لجهاز الإرسال إلا انها تقوم بعملية عكسية ، وهناك انواع متعددة من أجهزة الاستقبال وأشهرها السوبرهيترودواين ، ويتميز باتساع النطاق الترددي الذي يمكنه استقبال الإشارات فيه . الشكل (42) يبين المخطط الصندوقي لجهاز السوبر هيترودواين .




شكل (٤٢) : جهاز السوبر هيترودواين

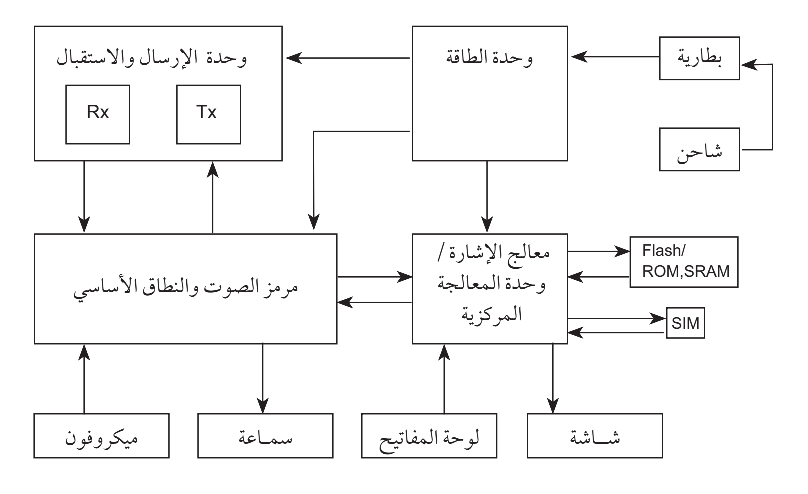
ومبدأ عمله يتلخص بتحويل تردد الإشارات الملتقطة من هوائي الاستقبال إلى تردد موحد (يسمى التردد الوسيط IF) من قبل وحدة المازج ، وهذا التردد هو الفرق بين تردد المذبذب المحلي وتردد الإشارة المستقبلة ، ولان المذبذب المحلي متغير التردد فإن نطاق الاستقبال عريض .

تمر اشارة التردد الوسيط بمضخم لتبقى ضمن مستوى مقبول ، ثم تمر عبر الكاشف الذي يستخلص إشارة المعلومات من الإشارة الحاملة لتضخم فيما بعد .

يستخدم السوبرهيترودواين في العديد من التطبيقات وخاصة الاستقبال الإذاعي التلفازي ، ويستخدم في كشف إشارة تضمين الاتساع أو تضمين التردد .

## الوحدة المتنقلة (ME)

تعدّ الوحدة المتنقلة من أكثر الأجهزة الإلكترونية تطوراً ، ونظرا لزيادة الطلب عليها والانتشار الهائل لأنظمة الهواتف الخلوية حول العالم فقد تطورت هذه الأجهزة بشكل كبير ، وفي فترة قصيرة نسبياً كما أن حجمها يتضاءل وخدماتها تزداد ، ومع ذلك فإن جميعها تتشابه في الأقسام والوظائف الرئيسة ، وهذه الوحدات هي مرمز الصوت ، ومعالج الكلام ، ومعالج الإشارة ، ومرمز النظام الأساسي ، ووحدة الإرسال والاستقبال . كما في الشكل(43) .




شكل (٤٣) : الوحدات الأساسية للجهاز الخليوي .

- **وحدة الطاقة** : تقوم بتزويد أجزاء الهاتف الخليوي المختلفة بالطاقة الكهربائية .
- **وحدة الشحن** : تقوم بتنظيم عملية الشحن .
- **وحدة الإرسال والإستقبال** : وتحتوي على مرحلة التردد البيني IF والمازج ومرشحات لكل من التردد البيني IF والتردد الراديوي RF ومضخمات استقبال اولية منخفضة الضجيج ومضخمات قدرة للإرسال .
- **مرمز الصوت والنطاق الأساسي** : تقوم بعمليات معالجة الصوت والتشفير ، كما تقوم بتحويل الإشارات الصادرة عن الميكروويف من تماثلية إلى رقمية والإشارات الصادرة عن وحدة معالجة الإشارة من رقمية إلى تماثلية .
- **وحدة المعالجة المركزية** : تقوم بالتحكم بالوحدات الأخرى ومهام التشفير .
- **ذاكرة** : تحتوي على برامج الجهاز وبيانات المستخدم .
- **البطارية** : قابلة للشحن وتزود الجهاز الطاقة اللازمة .

## الأسئـــلة

س١ : اجب عن الأسئلة الآتية :

١ . ماهي أبرز عيوب الأنظمة اللاسلكية التقليدية وحيدة الخلية؟ .

٢ . بماذا تميزت أنظمة الجيل الثاني عن الجيل الأول؟وما هو أشهر أنظمة هذا الجيل؟ .

٣ . ماهي أبرز ميزات الجيل الثالث من الهواتف الخليوية؟ .

٤ . إلى ماذا يطمح مصممو الجيل الرابع؟ .

٥ . اذكر ابرز خصائص نظام GSM .

٦ . ممّ تتكون الوحدة المتنقلة ؟وكيف يتم تميز كل وحدة في الشبكة؟ .

٧ . اين يستخدم الرقم العالمي لهوية المشترك(IMSI)؟وما الفائدة منه؟ .

٨ . متى يتم استخدام رقم فك الإغلاق الشخصي PUK؟ .

٩ . ممّ يتكون نظام فرعي محطات القاعدة(BSS)؟وماهي وظائفها؟ .

١٠ . ماهي وظيفة كل من : MSC وHLR وAuc وVLR في الأنظمة الرئيسة لنظام فرعي تحويل الشبكة؟ .

١١ . عدد مهام نظام التشغيل والصيانة .

١٢ . ماهي أبرز الخدمات التي يقدمها نظام GSM؟ .

١٣ . مالفرق بين التجوال الدولي International Roaming والتجوال العالمي Global Roaming؟ .

١٤ . في الوحدة المتنقلة يمكن استخدام سرعتين للنقل ماهما؟ وماهو عدد الوحدات المتنقلة للقناة الواحدة لكل سرعة نقل؟ .

١٥ . ما الذي ميز الجيل الثاني لنظام الهواتف اللاسلكية CT2 عن الجيل الأول CT1.

١٦ . وضح كيف يتشابه نظام DECT مع الأنظمة الخليوية ، وكيف يستخدم كامتدادا لها؟ .

١٧ . أين يستخدم نظام الدارة المحلية اللاسلكية WLL؟وبماذا يتميز؟ .

١٨ . ماهي الوحدات التي تتكون منها الوحدة المتنقلة؟وماهي وظيفة كل وحدة؟ .

س٢ : ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية :

١ . استخدمت تكنولوجيا GPRS لتطوير أنظمة DAMPS لزيادة سرعة نقل البيانات .

٢ . يتميز نظام GSM عن الأنظمة الأخرى باستخدام بطاقة هوية المشترك SIM.

٣ . يستخدم التوزيع الخليوي بحيث تستخدم الخلايا المتجاورة نفس الترددات .

٤ . العنقود (Cluster) هو مجموعة من الخلايا تتوزع عليها الترددات المختلفة .

٥ . يتناسب حجم الخلية عكسياً مع الطاقة الإشعاعية للوحدة المتنقلة .

٦ . عدد الخلايا في المناطق الريفية أكبر من عددها في المناطق المدنية .

٧ . يقوم نظام خدمات المشتركين والفوترة CCBS بتجهيز بطاقات المشتركين .

٨ . تستخدم قناة TCH للتحكم وقناة CCH لنقل البيانات .

٩ . يمكن عبر نظام أريديوم التحدث من زي مكان في العالم عبر شبكة ضخمة من الأبراج الخليوية .

١٠ . باستخدام تقنية بلوتوث يمكن ربط ثمانية أجهزة أو أكثر لتبادل البيانات .

س٣: اختر الإجابة الصحيحة :

١ . التوثيق Authentication عملية تتم قبل :

أ. تحديث الموقع . ب. اجراء مكالمة .

جـ. استقبال مكالمة . د. كل ماسبق .

٢ . يستخدم التشفير Ciphering بين كل من :

أ. BTS وBSC. ب. ME وBTS.

جـ. ME وSIM. د. كل ما سبق .

٣ . يتم الرجوع لسجل EIR في حالة :

أ. التسجيل أو طلب إجراء مكالمة . ب. التوثيق والتشفير .

جـ. تحديث الموقع . د. كل ما سبق .

٤ . نظام إعداد بطاقات هوية المشترك يقوم بــ:

أ. ادارة بيانات المشترك . ب. تفعيل وتشغيل بطاقات المشترك

جـ. ربط بيانات المشترك مع الوحدة المتنقلة . د. ربط الرقم المتسلسل للبطاقة مع معلومات المشتركين .

٥ . تحدث عملية التسليم بين الوحدة النقالة وأبراج الخلايا في الحالات الآتية :

أ. تشغيل الوحدة النقالة لأول مرة في الشبكة .

ب. ابتعاد الوحدة المتنقلة عن برج الخلية الحالي واقترابها من برج آخر .

جـ. ضعف إشارة الخلية ، وخروج الوحدة المتنقلة عن نطاق الخلية .

د. كل ما ذكر .

٦ . يتميز نظام البلوتوث بـ:

أ. سهولة الاستخدام . ب. رخص الثمن .

جـ. نظام عالمي موحد . د . كل ماذكر .

٧ . يمكن تكوين نوعين من الشبكات باستخدام البلوتوث ، هما .

أ. بيكونت وسكاترنت . ب. سيد وتابع .

جـ. بيكو بوينت وسكاتربوينت . د . كل ماذكر .

٨ . تستخدم تقنية واي فاي في :

أ. الوحدات المتنقلة لنقل الصوت . ب. أنظمة الأقمار الصناعية .

جـ. شبكات الحاسوب . د . لا شيء مما ذكر .

**References:**

- Simon Haykin, Communication Systems ,4th Edition, Wiley & Sons, 2001.
- Martin Roben, Analog And Digital Communication Systems, 4th Edition, Prentic Hall 1998.
- Rodger E. Ziemer and Roger L. Peterson, Introduction to Digital Communications, Second Edition, Prentic Hall 2001.
- Morris Tischler, Antennas And Transmission Lines.
- Jack Hudson, Jerry Luecke, Baisic Communications Electronics.
- Gordon L. Stuber, Principles of mobile communications, Second Edition, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- Bruce R .Elbert, The Satellite Communication Applications Handbook, Second Edition, Artech house, 2004
- Siegmund M. Redl, GSM and Personal Communications HandBook, Artech House, 1998
- William Webb, The Complete Wireless Communications Professional , Artech House, 1999.
- Juha Korhonen, Introduction to 3G Mobile Communications, Second Edition, Artech House ,2003.
- Friedhelm Hillebrand ,GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication, Wiley ,2001.
- William Lee, Mobile Cellular Telecommunications, McGraw Hill, 2001.
- Gunnar Heine, GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation, Artech House, 1998.
- Tarmo Anttalaien, Introduction to telecommunication network engineering.
- Stephen J .Bigelow, Joseph J. Carr, and Steve Winder, Understanding Telephone electronics.
- Roger l. Freeman, Fundamental of Telecommunication.

**Websites:**

- http://www.gsmworld.com.
- http://www.howstuffworks.com.
- http://www.web-ee.com.

المراجع العربية :

- تصميم وتركيب هوائي التلفزيون – المهندس محمد نذير المتني .
- الهوائيات التلفزيونية – المهندس اسامة النايف .
- تكنولوجيا مستقبلات الأقمار الإصطناعية – ترجمة واعداد الدكتور عبد الرحمن وهيبة .
- نظم الإتصالات اللاسلكية الخليوية للمتنقلات – د . حسن الكمشوشي، د . سعيد النوبي .



